

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO E INGENIERA MECÁNICA**

**TEMA:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ENSILADORA DE HOJAS DE
MAÍZ DE 25 KG POR BLOQUES PARA LA PARROQUIA DE POALÓ EN LA
PROVINCIA DE COTOPAXI.**

**AUTORES:
BRIONES AGUIRRE RENATO JOSUÉ
TABARES LOZA KARLA ESTEFANÍA**

**TUTOR:
QUITIAQUEZ SARZOSA PATRICIO RENÉ**

Quito, agosto del 2019

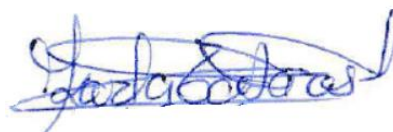
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Josué Renato Briones Aguirre con Cedula de Identidad N° 172245579-5 y Karla Estefanía Tabares Loza con Cedula de Identidad N° 172325264-7, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ENSILADORA DE HOJAS DE MAÍZ DE 25 KG POR BLOQUES PARA LA PARROQUIA DE POALÓ EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico e Ingeniera Mecánica , en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores, nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Josué Renato Briones Aguirre
C.I.: 172245579-5

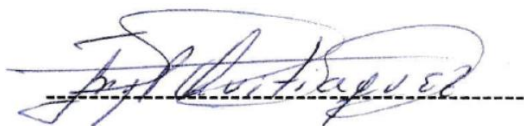


Karla Estefanía Tabares Loza
C.I.: 172325264-7

Quito, julio del 2019.

DECLARACIÓN DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ENSILADORA DE HOJAS DE MAÍZ DE 25 KG POR BLOQUES PARA LA PARROQUIA DE POALÓ EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI” realizado por Josué Renato Briones Aguirre y Karla Estefanía Tabares Loza, obteniendo un equipo que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ing. René Patricio Quitiaquez Sarzosa', is written over a horizontal dashed line.

Ing. René Patricio Quitiaquez Sarzosa
C.I.: 171059726-9

Quito, julio del 2019.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios por ser quien envió a su único hijo para que sacrifique su vida por nosotros, así salvarnos y demostrarnos de esta forma su amor infinito. A mis padres por ser la piedra angular de mi vida, mi apoyo incondicional en todo momento, brindándome el aliento, las palabras precisas para no desmayar ante las adversidades, siendo testigos partícipes del esfuerzo y satisfacción que produjo culminar este proyecto. El cual constituye uno de nuestras principales metas y anhelos.

A la Virgencita del Carmen por ampararme, iluminarme y cubrirme con su Santo manto; no sólo a lo largo de mi carrera universitaria sino de mi vida en general.

A mis hermanos quiénes han sido mis amigos confiables y consejeros. A mi querida Universidad por abrirme las puertas no sólo del conocimiento sino de los valores que deben caracterizar a un profesional de la Universidad Politécnica Salesiana, a los docentes que laboran arduamente en la misma; finalmente a mis familiares y amigos quiénes han sido un apoyo importante a lo largo de toda mi vida.

Renato Josué Briones Aguirre

A Dios y a la virgen Inmaculada por darme la oportunidad de aprender y formarme profesionalmente en una institución educativa como la Universidad Politécnica Salesiana. A mis padres Gonzalo Tabares y Jacqueline Loza quienes han sido mi motivación para cumplir mis metas, brindándome su apoyo incondicional, su amor y confianza. A mis hermanas Pamela y María Augusta que estuvieron en todo momento conmigo, a mis abuelitos Teresita, José, Augusto y Soledad que siempre me enseñaron que todo esfuerzo tiene su recompensa y a Pablo Silva por su constante apoyo y aliento a lo largo de la carrera.

Karla Estefanía Tabares Loza

AGRADECIMIENTO

Principalmente quisiera agradecer a Dios por brindarme la vida y unos padres amorosos que han sido unos guías ejemplares, y la principal muestra de que la formación en valores es lo esencial en los seres humanos; desvelándose por garantizar el bienestar de nuestra familia. Agradezco también a mis hermanos por ser un aliento y soporte en los momentos complicados.

A mi prestigiosa Universidad, a todo el personal que labora en la misma dotada de Docentes qué cuentan con un alto grado de calidad humana, además de profesionalismo, gracias a sus sabias enseñanzas nos han permitido consolidar uno de nuestros principales sueños y metas. En especial al Ing. Patricio Quitiaquez, pues bajo su eficiente orientación, el proyecto pudo ser culminado. Finalmente quiero agradecer a todas las personas que han sido parte importante de mi vida; familiares y amigos quiénes me han apoyado en todo momento confiando siempre en mí. Sin todos ustedes el cumplimiento de este proyecto y sueño no habría sido posible.

Renato Josué Briones Aguirre

En primer lugar agradezco a Dios por la regalarme salud y vida para cumplir con una de mis metas. A mis padres por ser pacientes, amorosos, dedicados y nobles, demostrando día tras día perseverancia, cuidado y apoyo en cada miembro de la familia. A mis hermanas por nunca dejarme vencer ante las adversidades de la vida. A mi abuelita Soledad por siempre brindarme palabras de aliento y a Pablo Silva por ser un apoyo incondicional y brindarme su amor incondicional.

Agradezco a mi Universidad, por permitirme iniciar y culminar mis estudios afianzando los valores más importantes para ser mejor ser humano. A mi tutor de tesis Ing. Patricio Quitiaquez por la paciencia, apoyo y confianza durante la carrera y desarrollo de la tesis.

Por último y no menos importante agradezco a mis tíos Hernán, Eduardo, Hugo, Jorge y mis tías Blaquita, Fabi, Ceci, Teresa, Rosario, Isabel y demás familiares que han visto evolucionar mis pasos.

Karla Estefanía Tabares Loza

ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	I
DECLARACIÓN DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
OBJETIVOS	XVII
OBJETIVO GENERAL.....	XVII
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XVII
CAPÍTULO I.....	1
1. Estudio de factibilidad.....	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Producción de maíz en el Ecuador.....	2
1.3. Situación actual de la parroquia de San José de Poaló	3
1.4. Marco referencial.....	4
1.4.1. Ensilaje.....	4
1.4.2. Proceso de ensilaje del maíz	4
1.4.3. Características óptimas del ensilaje	5
1.4.4. Tipos de silos	5
1.4.4.1. Fundas plásticas.....	5
1.4.4.2. De cajón u horizontales	6
1.4.4.3. Anillo o cincho	6
1.4.5. Valor nutritivo del ensilado para la alimentación del ganado.....	6
1.4.6. Reconocimientos de los estados de madurez del maíz	7
1.4.7. Tamaño del picado	8
1.5. Maquinaria.....	8

1.5.1.	Compactadora cilindro-émbolo	8
1.5.2.	Compactadora manual	9
1.5.3.	Compactadora tornillo sin fin	9
1.6.	Fundamentos teóricos	9
1.6.1.	Sistemas Hidráulicos.....	9
1.6.2.	Principio de Pascal.....	10
1.7.	Diseño Estructural	10
1.7.1.	Columnas cargadas axialmente a compresión	11
1.7.1.1.	Perfiles utilizados para columnas	12
1.7.2.	Vigas	13
1.7.2.1.	Vigas con doble empotramiento.....	13
1.7.2.2.	Vigas con doble empotramiento y carga puntual	13
1.7.2.3.	Viga sometida a flexión.....	14
1.7.3.	Cálculo de vigas.....	15
1.7.3.1.	Diagrama de cuerpo libre	15
1.7.3.2.	Cortante Máximo.....	15
1.7.3.3.	Momento Flector	15
1.8.	Resortes.....	16
1.8.1.	Resortes a tracción	16
1.8.2.	Selección del material	17
1.8.3.	Dimensionamiento y cálculo de resortes	18
1.8.3.1.	Diámetro del hilo del resorte	18
1.8.3.2.	Carga del resorte	18
1.8.3.3.	Número de espiras del resorte	19
1.8.3.4.	Flexión del resorte	19
1.8.3.5.	Esfuerzo Cortante	19
1.9.	Tornillo de potencia.....	20
1.9.1.	Materiales para tornillos de potencia	20
1.9.2.	Paso	21
1.9.3.	Avance	22
1.9.4.	Número de entradas	22
1.9.5.	Par torsión	22

1.9.6.	Esfuerzo cortante en el tornillo de potencia.....	23
1.9.7.	Esfuerzo Axial	23
1.9.8.	Esfuerzo de Von Mises	23
1.9.9.	Factor de Seguridad	24
1.10.	Soldadura	24
1.10.1.	Soldadura (SMAW)	25
1.10.2.	Tipo de corriente	26
1.10.3.	Electrodos	26
1.10.4.	Carga estática en soldadura.....	26
1.10.4.1.	Esfuerzo normal.....	27
1.10.4.2.	Esfuerzo Cortante	27
1.11.	Dimensionamiento de la superficie para la compactación	29
1.12.	Rodamientos	29
1.12.1.	Rodamientos radiales	30
1.12.2.	Rodamientos axiales	31
1.12.3.	Vida útil del rodamiento	31
1.13.	Pernos sometidos a esfuerzos cortantes.....	31
1.13.1.	Diámetro del perno	32
1.13.2.	Fuerza máxima resistente al corte.....	32
1.13.3.	Número de pernos	33
1.14.	Esfuerzo de compresión del ensilaje.....	33
1.15.	Esquema de la compactadora de ensilaje.....	34
CAPÍTULO II		35
2.	Generalidades	35
2.1.	Datos de diseño.....	35
2.2.	Dimensionamiento de la superficie para la compactación	36
2.3.	Análisis de pruebas	36
2.4.	Selección de alternativas.....	37
2.4.1.	Máquina compactadora con sistema bomba-cilindro (Alternativa 1).....	37
2.4.2.	Máquina compactadora con sistema de gato hidráulico (Alternativa 2).....	37
2.4.3.	Máquina compactadora con tornillo de potencia (Alternativa 3)	38
2.5.	Diseño de la alternativa seleccionada	40

2.5.1. Introducción	40
2.6. Cálculo de vigas.....	41
2.6.1. Determinación de fuerzas y momentos	41
2.7. Cálculo de Columnas	47
2.8. Cálculo de Resortes	49
2.8.1. Selección del Material.....	49
2.8.2. Dimensionamiento del resorte	49
2.9. Cálculo de tornillo de potencia	53
2.9.1. Selección del material del tornillo de potencia	53
2.9.2. Dimensionamiento del tornillo de potencia	53
2.9.3. Esfuerzo Axial	54
2.9.4. Momento Torsional.....	54
2.9.5. Esfuerzo cortante	54
2.9.6. Esfuerzo de Von Mises	55
2.9.7. Factor de seguridad	55
2.9.8. Momento Máximo	55
2.10. Dimensionamiento de la tuerca	56
2.10.1. Diámetro de la tuerca	56
2.10.2. Espesor de la turca	56
2.11. Cálculo de soldadura en el cilindro de compactación	56
2.11.1. Selección del electrodo	56
2.11.2. Esfuerzo Normal	57
2.11.3. Esfuerzo Cortante.....	57
2.12. Cálculo de soldadura en los perfiles	58
2.12.1. Esfuerzo Normal	58
2.13. Cálculo de pernos	58
2.13.1. Diámetro Nominal	58
2.13.2. Fuerza máxima resistente al corte.....	59
2.13.3. Número de pernos	59
CAPÍTULO III	60
3. Generalidades	60
3.1. Análisis experimental de la compactadora	60

3.1.1.	Prueba 1	61
3.1.2.	Prueba 2	61
3.1.3.	Prueba 3	62
3.1.4.	Resultados del análisis experimental	63
3.2.	Costos	63
3.2.1.	Costos por máquinas y equipos utilizados	63
3.2.2.	Costos directos	64
3.2.3.	Costos de mano de obra	65
3.2.4.	Costos directos totales.....	65
3.2.5.	Costos indirectos	65
3.2.6.	Costo total de la máquina compactadora de ensilaje	66
3.3.	Proyección de ahorro anual	66
3.4.	Valor Actual Neto (VAN)	67
3.5.	Tasa interna de retorno (TIR)	67
3.6.	Índice de Rentabilidad	68
3.7.	Retorno de la inversión	68
3.8.	Análisis económico de la producción de maíz con la máquina diseñada	68
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES	70
	REFERENCIAS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficios del ensilaje de maíz	1
Tabla 2. Producción anual de maíz suave a nivel regional.	2
Tabla 3. Producción anual de maíz suave a nivel provincial.	2
Tabla 4. Proceso de ensilaje	4
Tabla 5. Características óptimas del ensilaje	5
Tabla 6. Valor nutritivo del ensilaje de maíz.	7
Tabla 7. Estados de madurez.....	7
Tabla 8. Tamaño del picado del ensilaje	8
Tabla 9. Tipos de materiales según su resistencia.....	17
Tabla 10. Constantes para la resistencia a tracción de alambres para resortes	17
Tabla 11 Resistencia a la tensión de diferentes materiales	20
Tabla 12. Coeficiente de fricción f de pares roscados.....	23
Tabla 13. Resistencias a tensión y fluencia de los electrodos principales.	28
Tabla 14. Espesores del metal base y tamaño de la soldadura	28
Tabla 15. Densidad del ensilaje para diferentes masas	29
Tabla 16. Límite elástico (Syp) y resistencia última a tracción (Sup) para pernos.....	33
Tabla 17. Ponderación de alternativas	39
Tabla 18. Esfuerzo admisible de compresión	48
Tabla 19. Variación de longitud al compactar el ensilaje de 30 mm	61
Tabla 20. Variación de longitud al compactar el ensilaje de 20 mm	61
Tabla 21. Variación de longitud al compactar el ensilaje de 25 mm	62
Tabla 22. Costos de máquinas y equipos utilizados.....	63
Tabla 23. Descripción de costos de materiales directos.....	64
Tabla 24. Costo de mano de obra.....	65
Tabla 25. Costos directos totales.....	65
Tabla 26. Costos indirectos	65
Tabla 27. Costo total de la maquinaria.....	66
Tabla 28. Proyección de ahorro anual.	66
Tabla 29. Criterios para el valor actual neto (VAN).	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso actual del ensilamiento de la hoja de maíz	3
Figura 2. Silos en fundas plásticas	5
Figura 3. Silo horizontal	6
Figura 4. Silo de anillo	6
Figura 5. Compactadora con émbolo	8
Figura 6. Compactadora manual	9
Figura 7. Compactadora tornillo sin fin	9
Figura 8. Sistema hidráulico básico	10
Figura 9. Principio de Pascal en una esfera	10
Figura 10. Valores aproximados del factor de longitud efectiva	11
Figura 11. Tipos de perfiles para compresión	12
Figura 12. Viga con doble empotramiento	13
Figura 13. Viga con doble empotramiento sometido a una carga puntual	13
Figura 14. Viga sometida a flexión	14
Figura 15. Resortes sometidos a compresión, tracción y torsión	16
Figura 16. Resorte a tracción	16
Figura 17. Resorte de sección circular	18
Figura 18. Cortante máxima en un resorte helicoidal	19
Figura 19. Esquema del tornillo de potencia	20
Figura 20. Formas del filete para tornillos de potencia	21
Figura 21. Paso en el tornillo de potencia	21
Figura 22. Número de entradas para las roscas	22
Figura 23. Procesos de soldadura y su clasificación	25
Figura 24. Descripción del proceso SMAW	25
Figura 25. Corriente alterna y continua en la soldadura	26
Figura 26. Partes del electrodo revestido	26
Figura 27. Esfuerzo normal en la soldadura SMAW	27
Figura 28. Tipos de rodamientos	30
Figura 29. Esquema de rodamiento radial autoalineable interno	30
Figura 30. Esquema rodamiento axial	31

Figura 31. Pernos sometidos a simple y doble cortadura.....	32
Figura 32. Compresión de una pieza.....	33
Figura 33. Esquema de la máquina compactadora	34
Figura 34. Diagrama carga-desplazamiento del compactado	36
Figura 35. Máquina compactadora bomba-cilindro	37
Figura 36. Gato hidráulico tipo botella	38
Figura 37. Máquina compactadora con tornillo de potencia	38
Figura 38. Diseño en 3D de la máquina compactadora de ensilaje	41
Figura 39. Diagrama de cuerpo libre en una viga con doble empotramiento	41
Figura 40. Diagrama Esfuerzo cortante y momento flector.....	42
Figura 41. Esquema del perfil IPE.....	43
Figura 42. Esquema del perfil con las platinas	44
Figura 43. Esquema del perfil IPE.....	47
Figura 44. Carga del tornillo como viga en cantiléver.....	55
Figura 45. Diagrama de compactada prueba 1.....	61
Figura 46. Diagrama de compactada prueba 2	62
Figura 47. Diagrama de compactada prueba 3	62

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Cosecha. – Se denomina a la actividad en que se recolectan semillas, hortalizas o frutos en una determinada época del año generalmente cuando se encuentran maduros. Esto marca el final del ciclo de un fruto [1].

Ensilado.- Proceso anaerobio mediante el cual se conservan las propiedades nutritivas de forrajes verdes , basado en la fermentación láctica, misma que produce el ácido láctico , ideal para el alimento del ganado lechero establecidas en porciones comprimidas [2].

Gramíneas. - Familia de plantas herbáceas monocotiledóneas que se caracterizan por: tallos de forma cilíndrica, con una altura promedio de 1 a 2 metros, hojas de tamaño variable que rodean al tallo, granos secos cubiertos por escamas de la flor que se encuentran agrupadas en forma de espigas [3].

Maíz. - Es un tipo de gramínea descubierta y domesticada por pueblos indígenas de México hace unos 10000 años. En la actualidad es uno de los cereales más abundantes y comerciales en todo el mundo debido a su gran cantidad de vitaminas A, B y E. Se los puede encontrar en diferentes tonalidades de color como: marrón, morado, naranja y el típico amarillo [2].

Rastrojo. - Desechos de la cosecha del maíz, como tallo, hojas, pelos del mismo, así como choclos secos en la tusa [4].

Tusa. - Parte central de la mazorca que resulta cuando se retiran todos los granos del maíz después de la cosecha [5].

RESUMEN

El presente proyecto tiene como propósito diseñar y construir una máquina compactadora de maíz, mediante la selección adecuada de materiales y elementos que la conformen.

En el capítulo I se desarrollará un estudio de la historia del ensilaje de maíz, así como la producción de maíz en la provincia de Cotopaxi, ya que el dimensionamiento de la máquina esté ligado al mismo.

Se establece también las diferentes alternativas para el diseño de la máquina, como primera alternativa una máquina tipo cilindro émbolo, como segunda opción la compactadora manual, y una aplicación con tornillo de potencia. Por último, se escoge la alternativa más conveniente la cual consiste en un sistema hidráulico (gata hidráulica), ayudado por un sistema de eje y resortes para el compactado ideal cumpliendo de esta manera con todas las necesidades de la comunidad.

En el capítulo II se procede al diseño basándose en el cálculo de esfuerzos, así como de los diferentes tipos de materiales que se necesitan para la construcción como lo es el cálculo de pernos, del resorte, tornillos como los más importantes. Adicionalmente, el cálculo del volumen final de compactado para dimensionar el espesor necesario según los esfuerzos generados por la fuerza de compactado requerida.

Se realiza un análisis experimental del compactado utilizando diferentes tipos de picado para conocer cuál es tamaño ideal para que el trabajo sea más rápido y eficiente. Además, del análisis costos en la construcción de la máquina garantizando así la rentabilidad del proyecto.

Palabras clave:

Análisis estático, compactación, ensilaje de maíz, empacado, fermentación anaeróbica.

ABSTRACT

The purpose of this project is to design and build a corn compactor machine, through the appropriate selection of materials and elements that conform it.

In chapter I a study of the history of corn silage will be developed, as well as the production of corn in the province of Cotopaxi, since the sizing of the machine is linked to it.

The different alternatives for the design of the machine are also proposed, as the first alternative a cylinder-type piston machine, as a second option the manual compactor, and finally an application with a worm screw. Finally, the most convenient alternative is chosen which consists of a hydraulic system (hydraulic jack), aided by a system of axes and springs for the ideal compaction, thus fulfilling all the needs of the community.

In chapter II we proceed to design based on the calculation of stresses, as well as the different types of materials needed for construction such as the calculation of bolts, spring, screws as the most important. Finally, the calculation of the final volume of compacted to size the necessary thickness according to the forces generated by the required compaction force.

An experimental analysis of the compacted is made using different types of chopping to know what is ideal size for the work to be faster and more efficient. Additional analysis of the construction costs of the machine will be carried out, thus guaranteeing the profitability of the project.

Keywords:

Static analysis, compaction, corn silage, packaging, anaerobic fermentation.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es la actividad económica que prevalece en el Ecuador, siendo la principal el cultivo de maíz ubicándose con un 69% del total agrícola en el primer bimestre del presente año según el MAGA (Ministerio de Agricultura y Ganadería) [6]. En cada provincia existe una diversidad de maíz, el cual genera un desecho que se conoce como rastrojo el cual es reutilizado por los mismos productores como alimento de las cabezas de ganado que poseen. Beneficiando así la producción de leche en la parroquia de Poaló, perteneciente a Cotopaxi.

Según la AGSO (Asociación de Ganaderos de la Sierra y Oriente) el consumo anual de leche por habitante debería ser de 160 litros de los cuales solo se cubren en el rango de 90 a 100 litros [7], aumentando la demanda en el sector ganadero al ser un producto de consumo diario, con el rastrojo generado por el cultivo de maíz se puede proveer de alimento en épocas áridas del año. Teniendo así una reserva para las cabezas de ganado.

La construcción de la compactadora de maíz tiene como objetivo principal conservar el alimento, así como optimizar el espacio que se utilizará obteniendo una forma de compactar sencilla, fácil y rápida, reduciendo tiempos y preservando el alimento. Dejando así de lado los métodos artesanales y monótonos que se utilizaron por varios años, causantes de demoras, pérdidas y lesiones en los agricultores.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir una máquina ensiladora de hojas de maíz de 25 kg por bloques para la parroquia de Poaló en la provincia de Cotopaxi.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar la situación actual sobre el proceso de ensilamiento de la hoja de maíz en la parroquia de Poaló en la provincia de Cotopaxi.
- Analizar alternativas y determinar la más viable para el diseño y construcción de la máquina adecuándose a las necesidades de la comunidad.
- Diseñar una máquina con una capacidad de 8 a 10 bloques por hora de producción.
- Validar el funcionamiento del equipo mediante diferentes pruebas de operación para entregar una máquina confiable y funcional.
- Realizar un estudio de rentabilidad de la producción de forma artesanal frente a la producción con la máquina diseñada.

CAPÍTULO I

1. Estudio de factibilidad

1.1. Generalidades

Este capítulo analiza el desarrollo del tema tomando como referencia aspectos entre la fabricación y diseño de la máquina frente a la producción total de maíz en la parroquia de Poaló provincia de Cotopaxi. Además, el análisis de conceptos teóricos prácticos, económicos, selección de alternativas y formulación. Con el propósito de establecer parámetros en calidad y cumplir con los objetivos propuestos.

Al Analizar la situación de la población de Cotopaxi frente a la necesidad de almacenar y prevalecer el alimento o forraje que se produce en épocas de abundancia, para ser suministrado a los animales en épocas de escasez. Esta alternativa de solución se ha venido implementando por el sector ganadero hace varios años atrás de manera artesanal mientras que con la creación de una máquina el proceso de ensilaje se puede optimizar y mejorar, para aprovechar de mejor manera para el alimento idóneo para los animales. La Tabla 1 muestra los beneficios de un buen ensilaje.

Tabla 1. Beneficios del ensilaje de maíz [8]

ÍTEM	BENEFICIOS
1	Aprovechar mediante este proceso la mayor cantidad de ensilaje para suministrar como alimento del ganado en épocas de sequía.
2	Se cosecha y se ensila el maíz en un estado de madurez adecuado, preservando un 93 % de los nutrientes.
3	Debido a los altos nutrientes que dispone el maíz no es necesario la complementación con otros productos del mercado, disminuyendo los costos de alimentación del ganado.
4	Cuando el proceso del ensilaje se lo realiza de forma apropiada se pueden conservar durante largos períodos de tiempo, con pérdidas pequeñas.

1.2. Producción de maíz en el Ecuador

Según el SINAGAP (Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca) en Ecuador se cosecha el maíz suave en dos estados: choclo tierno (73 %) y el restante en grano seco. El precio promedio anual del saco de 50 [kg] fue de USD 14.6, un 15% mayor al precio del año 2012 con un valor de 12.73 $\left[\frac{\text{USD}}{\text{saco de 50 kg}}\right]$ [9].

El último censo elaborado por el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). Detalla las cantidades de producción de maíz a nivel regional como se indica en la Tabla 2. Adicionalmente la Tabla 3, muestra un desglose de las provincias con mayor producción a nivel de la región Andina, en la cual está incluida la provincia de Cotopaxi, donde se realizará la instalación del proyecto [10].

Tabla 2. Producción anual de maíz suave a nivel regional [10]

Región y Provincia	Superficie (Has.)		Producción (Tm.)
	Sembrada	Cosechada	
Región sierra	68.892	61.725	111.401
Región costa	403	377	683
Región oriental	121	18	14

Tabla 3. Producción anual de maíz suave a nivel provincial [10]

Región sierra	Superficie (Has.)			Producción (Tm.)
	Sembrada	Cosechada		
Pichincha	Solo	26.153	25.742	42.461
	Asociado	198	172	170
Cotopaxi	Solo	2.374	1.889	4.893
	Asociado	2.804	2.161	1.576
Tungurahua	Solo	3.543	3.358	8.911
	Asociado	115	102	219
Chimborazo	Solo	2.978	2.123	5.646
	Asociado	1.595	1.464	2.286

1.3. Situación actual de la parroquia de San José de Poaló

En la parroquia San José de Poaló ubicada en la provincia de Cotopaxi, a pocos minutos de Latacunga, existe una creciente necesidad de maquinaria en el sector agrícola y ganadero. Pese a las gestiones realizadas por el GAD de Poaló, la ayuda es escasa, generando así un gran desperdicio de alimento para el ganado por falta de equipos y conocimientos en el proceso del ensilaje de maíz.

En la actualidad después de la cosecha del maíz, se retira el material sobrante y se procede a tapar con plásticos, lonas o costales, tratando de preservar el mayor tiempo posible el producto para la alimentación del ganado como se muestra en la Figura 1. Los pobladores de la comunidad manifestaron que ellos pican el rastrojo para el día de comida del ganado, tan solo dos familias de toda la comunidad realizan el proceso de manera artesanal, es decir, picando con machete y guardando en costales el picado tratando de ingresar la mayor cantidad de producto con ayuda de sus manos.



Figura 1. Proceso actual del ensilamiento de la hoja de maíz
Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

La parroquia no dispone de energía eléctrica en los campos de sembríos de maíz es por este motivo que se dificulta y crea un fuerte limitante para el diseño y construcción de maquinaria que ayudaría de mejor manera al desarrollo de las actividades. Por este motivo se propuso una máquina que su autonomía sea totalmente manual, para el proceso de empacado de la hoja de maíz picada, cumpliendo de esta forma con las principales necesidades de la comunidad. Por otro lado, el empaque se seguirá haciendo en costales ya que estos permiten respirar al material y amarrados con piolas o cuerdas plásticas, al ser costales estos se pueden lavar y reutilizar evitando así un impacto ambiental en la comunidad.

1.4. Marco referencial

1.4.1. Ensilaje

Según Garcés et al [11] define al ensilaje como un proceso de preservación del ensilaje húmedo y su principal objetivo es la conservación de nutrientes que posee el maíz durante su almacenamiento. Este método consiste en la compactación del forraje o subproducto, en el que se expulsa el aire y se produce la fermentación en un ambiente anaerobio que permite la proliferación de bacterias que acidifican el ensilaje [12].

1.4.2. Proceso de ensilaje del maíz

El ensilado demanda una serie de pasos que empiezan desde la recolección de la planta de maíz hasta el empaquetado del forraje para una conservación y distribución adecuada [13].

En la Tabla 4 se describe los pasos a seguir.

Tabla 4. Proceso de ensilaje [13]

FACTORES	DESCRIPCIÓN
Recolección	Se cosecha el maíz cuanto todavía se encuentra verde, a los 150 días de haber sembrado.
Tamaño de corte	Cuanto menor sea el tamaño de los fragmentos picados la compactación será más sencilla.
Humedad del ensilaje	La humedad debe ser controlada debido a que si es excesiva se producen muchas pérdidas del ensilaje caso contrario si es escasa resulta complicada la compactación. Por esto se recomienda un rango del 60 a 70 % de humedad.
Duración del ensilaje	Debe realizarse en el menor tiempo posible ya que entre cada una de las capas de forraje se produce una respiración excesiva provocando fermentaciones desfavorables.
Compactación y empaquetado del ensilaje	Para prevalecer y conservar la calidad del ensilado durante varios meses es necesario realizar el proceso de compactación y empaquetado evitando así la entrada de aire al producto, garantizando los nutrientes preestablecidos.

1.4.3. Características óptimas del ensilaje

La conservación apropiada del ensilaje depende estrictamente de la fermentación anaerobia pues si el silo posee aire empieza la oxidación rápida de los glúcidos que sirven como alimento para los organismos productores de la fermentación láctica los cuales aportan nutrientes y garantizan la calidad del ensilaje. Las características que determinan un ensilaje de calidad se detallan en la Tabla 5 [14].

Tabla 5. Características óptimas del ensilaje [14]

ÍTEM	CARACTERÍSTICAS
1	Buen color (Amarillo verdoso)
2	Buen olor (Avinagrado)
3	Buena textura (No babosa)
4	pH \leq 4,2

1.4.4. Tipos de silos

El ensilaje es almacenado en un arreglo llamada silo. La capacidad del mismo se establece con respecto a la cantidad de producción de ensilaje. Por este motivo existen diversos tipos de silo para recolectar el ensilaje los cuales se describen a continuación [15].

1.4.4.1. *Fundas plásticas*

Para fincas pequeñas con pocos animales es recomendable utilizar bolsas plásticas, ya que son muy eficaces para suplir el alimento del ganado en tiempos de sequía. Al usar estos silos se debe sellar la boca de la bolsa o saco con hilo para mayor seguridad [16].



Figura 2. Silos en fundas plásticas [16]

1.4.4.2. *De cajón u horizontales*

Este tipo de silo es el más utilizados cuando la producción de ensilajes es alta, por lo general son construidos en concreto con paredes laterales que ayudan a delimitar el material sin que existan desbordamientos [16].



Figura 3. Silo horizontal [16]

1.4.4.3. *Anillo o cincho*

El silo de anillo o cincho posee una forma de cilindro el cual se moldea a través de una plancha en forma de anillo elaborada en acero que se sujeta mediante prisioneros. Esta estructura por lo general posee un diámetro de 2.5 metros con una altura de 0.75 cm [17].



Figura 4. Silo de anillo [17]

1.4.5. Valor nutritivo del ensilado para la alimentación del ganado

El maíz es el producto más cultivado a lo largo de la zona de Cotopaxi siendo su principal destino es la elaboración de ensilaje. El ensilaje de maíz es un componente importante en la dieta de las vacas, debido a que constituye una opción de bajo costo por unidad energética y es el perfecto complemento en las raciones de los sistemas intensivos de estabulación, estabulación temporal y pastoril. El almidón pertenece a la fracción

nutricional de los alimentos conocida como Carbohidratos No Fibrosos (CNF), junto con los azúcares simples, fibra soluble (pectinas) y β - glucanos, que es indispensable para la nutrición de vacas además es la fracción más importante de este grupo de nutrientes [18].

Tabla 6. Valor nutritivo del ensilaje de maíz [18]

Componente	Unidad	Rango
Materia Seca	%	32-34
Proteína	%	7-9
FDN	%	40-42
FDA	%	24-26
Almidón	%	34-38
Calcio	%	0,11-0,25

1.4.6. Reconocimientos de los estados de madurez del maíz

Se efectuará la cosecha del maíz cuando la planta posea entre el 25 y 30 % de Materia Seca. En ese estado el grano se localiza entre el pastoso y vidrioso [19].

Tabla 7. Estados de madurez [19]

Estado del grano	% MS Planta entera	Descripción
Lechoso	20 %	Las espatas y las hojas que recubren a la mazorca se encuentran verdes.
Pastoso	25 %	Las espatas y las hojas que recubren a la mazorca empiezan a mostrar una tonalidad amarillenta.
Pastoso-Duro	30 %	Las espatas y las hojas que recubren a la mazorca son amarillas..
Vidrioso	35 %	Las hojas y las espatas se encuentran totalmente secas.

1.4.7. Tamaño del picado

La planta de maíz después de la cosecha debe estar correctamente picada para ello se clasifican dependiendo del tamaño de las partículas que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Tamaño del picado del ensilaje [20]

PARTICULAS	TAMAÑO	PORCENTAJE
Fina	< 10 mm	90 %
Media	10-20 mm	9 %
Gruesa	> 20 mm	1 %

Es recomendable utilizar partículas medias del picado entre 12 a 15 mm ya favorecen la digestión del ganado y se obtiene una mejor compactación

1.5. Maquinaria

Para estudiar el diseño y la fabricación de la compactadora del ensilaje es necesario preseleccionar la alternativa más idónea de la máquina a diseñar de las 3 alternativas presentadas a continuación:

1.5.1. Compactadora cilindro-émbolo

Se introduce el ensilaje en un recipiente que posteriormente será compactado a través de un cilindro émbolo el cual es accionado mediante un motor. Los detalles técnicos de la máquina varían según el tipo de material ya que poseen diferentes características y la compactación es diferente [21].



Figura 5. Compactadora con émbolo [21]

1.5.2. Compactadora manual

Este sistema es operado manualmente en el que se utiliza el principio de palanca para ejercer una mayor presión al momento de realizar el compactado del forraje [22].



Figura 6. Compactadora manual [22]

1.5.3. Compactadora tornillo sin fin

Equipo más robusto que utiliza un tornillo sin fin para desplazar el forraje y almacenarlo en fundas plásticas [23].



Figura 7. Compactadora tornillo sin fin [23]

1.6. Fundamentos teóricos

1.6.1. Sistemas Hidráulicos

Los sistemas hidráulicos emplean un fluido (aceite), el cual es el medio de transmisión de energía, para multiplicar las fuerzas.

Estos sistemas están conformados por una bomba, recipiente de almacenamiento de fluido, válvulas y fluido hidráulico [24].

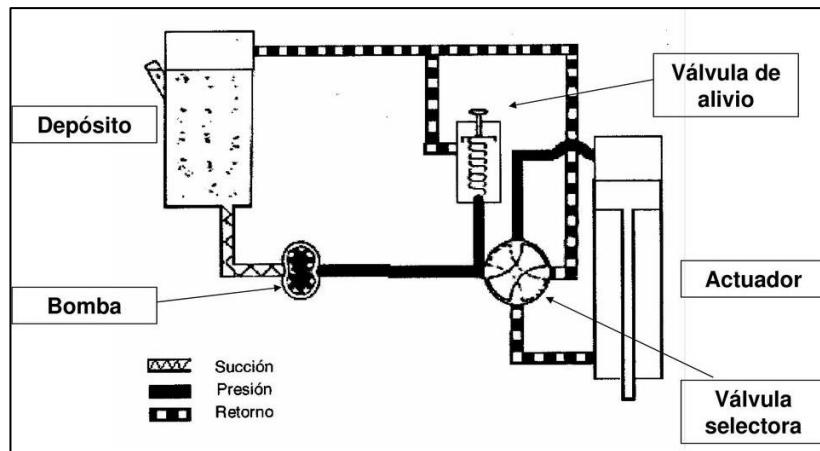


Figura 8. Sistema hidráulico básico [24]

1.6.2. Principio de Pascal

Según Pascal “Una variación de presión ejercida sobre a un fluido estático dentro de un contenedor se transmite sin alteración a través del mismo, el cual es igual en todas las direcciones y actúa mediante fuerzas perpendiculares a las paredes que lo contienen” [24], entendiendo como fluido a cualquier material de trabajo, en este caso el rastrojo. Este principio se aplica a las máquinas que comúnmente se conocen como hidráulicas y se lo puede visualizar en la Figura 9.

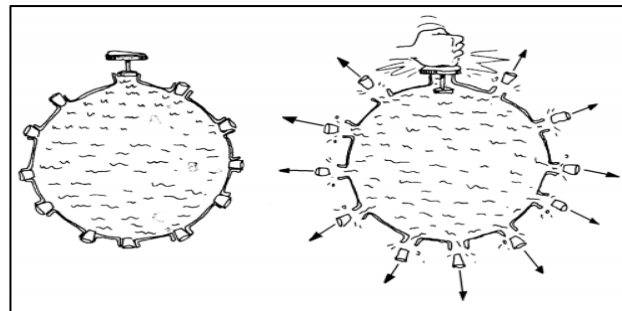


Figura 9. Principio de Pascal en una esfera [24]

1.7. Diseño Estructural

El análisis del diseño de la estructura de las vigas y columnas son parámetros indispensables para el proyecto, pues la base del equipo se centra en la estructura y el ensamble de los elementos mecánicos para la fabricación del equipo de compactación. Los métodos más frecuentes para determinar efectos que se producen sobre vigas y

columnas son: área de momento, viga conjugada, doble integración entre otros [25]. En la actualidad existen diversos softwares para el diseño de estructuras enfocados en este tipo de cálculos, ingresando ciertos parámetros, sin embargo, es necesario ejecutar los cálculos de forma manual y comparar los resultados para poder formar un criterio y seleccionar la mejor opción.

1.7.1. Columnas cargadas axialmente a compresión

Existen diferentes elementos que están sometidos a compresión de los cuales los más destacados son las columnas. Las columnas se definen como miembros verticales rectos cuya longitud es mucho mayor que el ancho de las mismas.

Mientras más larga sea la columna para la sección transversal, aumenta su tenacidad a pandearse y la carga que puede soportar será menor. Esta tenacidad se mide con la relación de esbeltez mecánica (λ) entre la longitud de la columna y el radio de giro como se muestra en la ecuación [26].

$$\lambda = \frac{K \cdot L_C}{r_{min}} \quad (1)$$

Donde

L_C : Longitud de la columna

K : Factor que depende de los tipos de apoyo

r : Radio de giro menor

La Figura 10, indica el factor de K teórico correspondiente a cada tipo de apoyo.

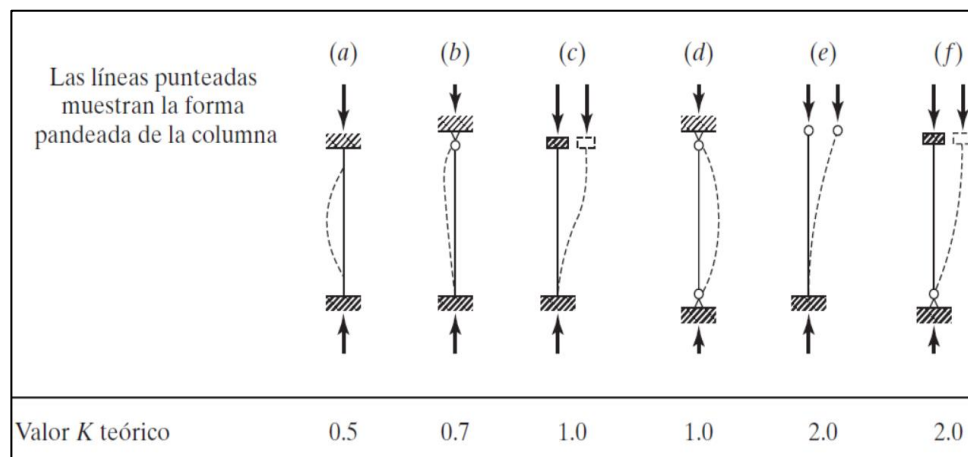


Figura 10. Valores aproximados del factor de longitud efectiva [27]

Para el radio de giro se analiza el plano horizontal y vertical de la sección transversal del miembro a través de las siguientes ecuaciones:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad (2)$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (3)$$

Donde

r_x : Radio de giro en el eje x

r_y : Radio de giro en el eje y

I_x : Inercia en el eje x

I_y : Inercia en el eje y

A : Área de la sección trasversal

1.7.1.1. *Perfiles utilizados para columnas*

Las secciones empleadas para miembros sometidos a compresión son semejantes a los utilizados en tensión, pero la excepción fundamental entre los mismos es que los elementos a compresión varían de forma inversa a las relaciones de esbeltez por lo tanto las estructuras son más rígidas. En la Figura 11, se muestran todos los perfiles aptos para trabajar a compresión [28].

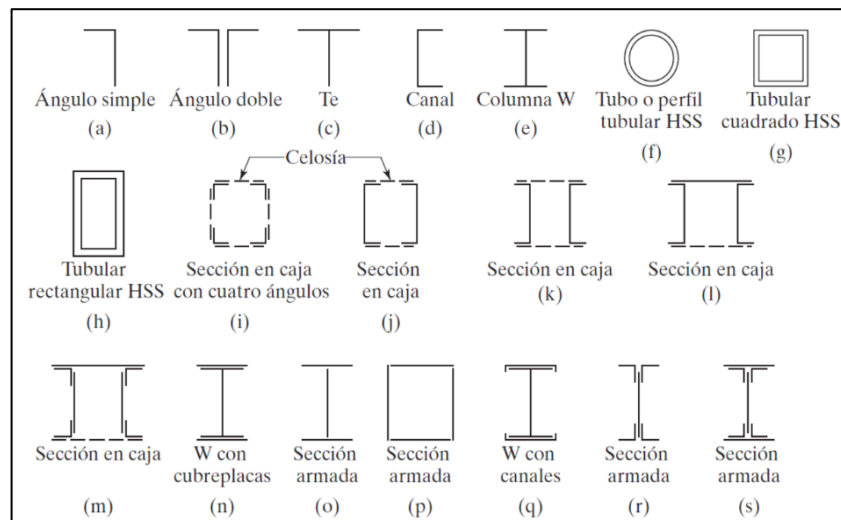


Figura 11. Tipos de perfiles para compresión [28]

1.7.2. Vigas

Las vigas como las columnas son barras sometidas a cargas o momentos que se generan en los distintos planos que llegan a generar: compresión, corte, torsión y flexión [29, 30]. Los mismos que crean en la viga deformaciones que afectan el buen funcionamiento de la misma incluso llegando a la rotura dependiendo del esfuerzo en el que se desempeñe el trabajo.

1.7.2.1. Vigas con doble empotramiento

Este tipo de vigas son hiperestáticas esto quiere decir que son indeterminadas ya que posee 4 incógnitas dos en cada empotramiento y solo dos ecuaciones de equilibrio. Al tratar estos casos en particular adicionalmente se considera las ecuaciones de compatibilidad de deformaciones, las mismas que se han basado en el método de Mohr y superposición.

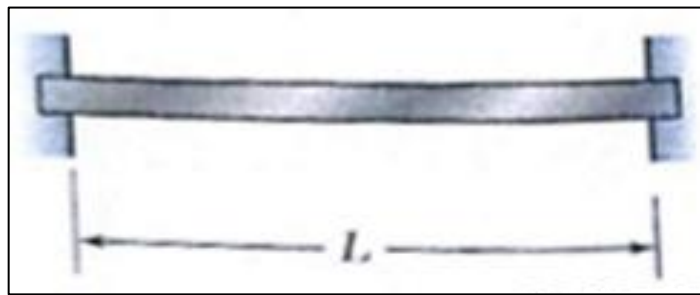


Figura 12. Viga con doble empotramiento [29]

1.7.2.2. Vigas con doble empotramiento y carga puntual

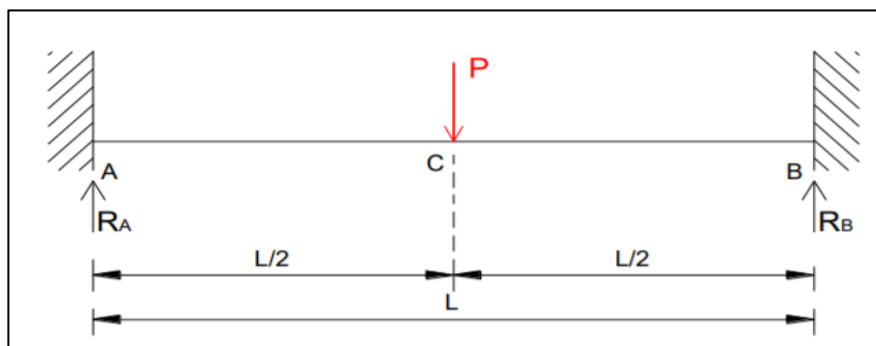


Figura 13. Viga con doble empotramiento sometido a una carga puntual [25]

Para determinar los momentos en cada uno de los extremos empotrados de una viga sometida a una carga puntual en la sección central se aplica la Ecuación 4.

Considerando que los momentos son iguales en los puntos A y B.

$$Ma = Mb = \frac{P \cdot L}{8} \quad (4)$$

Donde

P : Carga puntual en el centro de la viga

L : Longitud de la viga

Ma : Momento en el punto A

Mb : Momento en el punto B

En el caso de las relaciones se obtiene dividiendo la carga puntual entre dos como se indica en la ecuación.

$$Ra = Rb = \frac{P}{2} \quad (5)$$

Donde

Ra : Reacción en el punto A

Rb : Reacción en el punto B

1.7.2.3. *Viga sometida a flexión*

La viga se encuentra sometida a flexión cuando las cargas son ejercidas de forma perpendiculares al eje. Las cuales generan esfuerzos de flexión y cortantes en la viga, adicionalmente se produce un pandeo en el eje longitudinal como se muestra en la Figura 14, [31] .

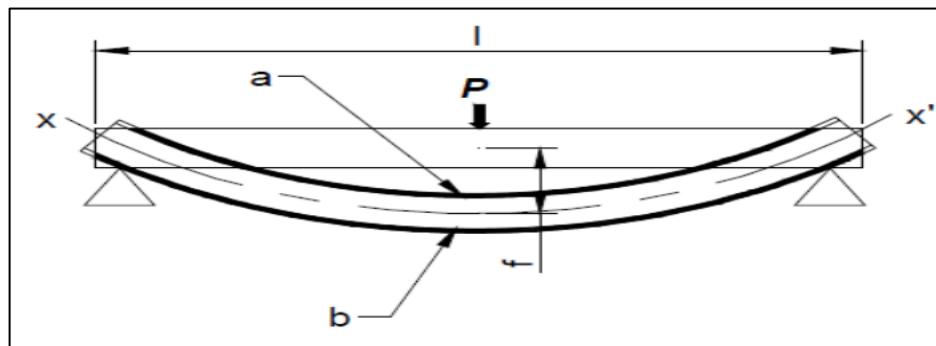


Figura 14. Viga sometida a flexión [31]

La deformación de la viga se mide desde la superficie del eje neutro hasta la posición original de la misma la cual se muestra representada por la letra f . La flexión produce dos aspectos importantes que se describen a continuación:

- a. La parte superior de la viga en el punto (a) se encuentra expuesto a compresión en sus moléculas.
- b. La parte inferior de la viga en el punto (b) sufre tracción en sus moléculas.

El cálculo de este desplazamiento o flecha se obtiene mediante la ecuación de la elástica.

$$f_v = \frac{P \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I} \quad (6)$$

Donde

f_v : Flexión de la viga

E : Módulo de elasticidad

I : Inercia de la viga.

1.7.3. Cálculo de vigas

1.7.3.1. Diagrama de cuerpo libre

Es punto de partida para el análisis estático de cualquier tipo de viga. El cual consiste en una representación gráfica de todas las fuerzas a las que se encuentra sometida una viga.

1.7.3.2. Cortante Máximo

Es la fuerza cortante máxima que soporta una viga en un determinado punto, producto de la carga resultante aplicada sobre la misma. Cabe recalcar que este resultado es utilizado como valor absoluto.

1.7.3.3. Momento Flector

Es la fuerza que resulta de una distribución de cargas ejercidas sobre la sección transversal de la viga o también se lo define como una lámina que forma una perpendicular entre el largo del eje donde se produce la flexión de la viga [32].

1.8. Resortes

Son partes esenciales de cierto tipo de máquinas cuya función principal es brindar maleabilidad a conexiones cinemáticas entre distintos elementos mecánicos. Los resortes poseen una dualidad ya que permiten aportar una fuerza o momento dependiendo de la geometría, representado en la Figura 15. Adicionalmente almacenan energía. Esta energía almacenada se ve reflejada en la deformación elástica, provocada por una fuerza exterior, el cual vuelve a su estado original después de liberarse de la misma [33, 34].

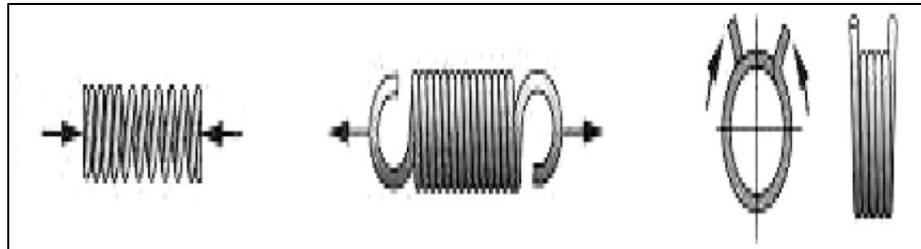


Figura 15. Resortes sometidos a compresión, tracción y torsión [33]

1.8.1. Resortes a tracción

Es un resorte de forma helicoidal cilíndrico cuya función principal es absorber y acumular energía, a través de la generación de resistencia a una fuerza de tracción. Cuando el resorte se encuentra en reposo las espiras se encuentran firmemente apretadas por lo tanto el paso de la espira es igual al diámetro del hilo, como se muestra en la Figura 16. Por lo general en este tipo de resortes la falla principal se presenta en el gancho ya que se encuentra sometido a un mayor esfuerzo [33].

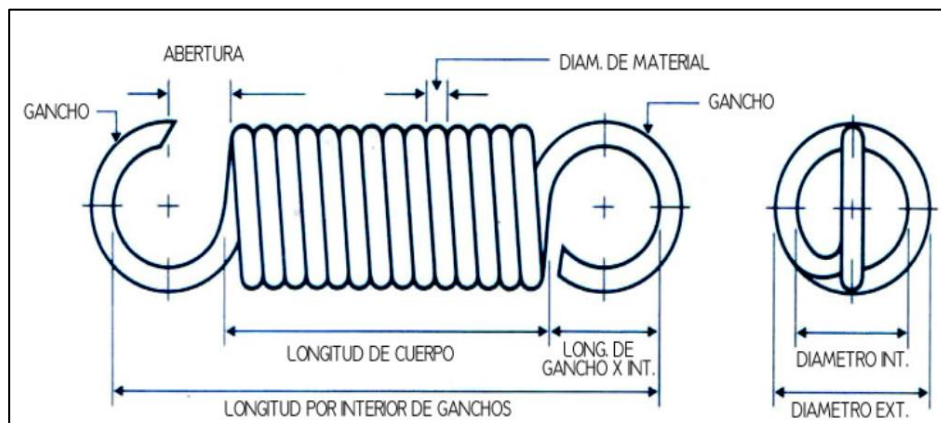


Figura 16. Resorte a tracción [33]

1.8.2. Selección del material

Para seleccionar el material del resorte se toma como referencia la relación entre dos aspectos indispensables el primero es el coeficiente de resistencia y el otro es el módulo de elasticidad, esta relación se denomina Resistencia normalizada. Se considera el material en función de la resistencia al que se encuentra sometido el resorte como se muestra en la Tabla 9, [33].

Tabla 9. Tipos de materiales según su resistencia [33]

Metales y polímeros	Elastómeros	Materiales compuestos	Resinas fenólicas y maderas
Resistencia a la fluencia.	Resistencia al desgarramiento.	Resistencia a la tracción.	Resistencia a la tracción.

Los resortes fabricados en acero generalmente se realizan con procesos de deformación en caliente o frío dependiendo de las propiedades deseadas y el tamaño del material, basadas en el coeficiente de rigidez. Los materiales más frecuentes utilizados en los resortes helicoidales de alambre circular con sus características principales se muestran en la siguiente tabla [35].

Tabla 10. Constantes para la resistencia a tracción de alambres para resortes [35]

Material	ASTM Núm.	Exponente m	Diámetro [mm]	A [MPa·mm]
Alambre de piano	A228	0,15	0,10-6,5	2211
Alambre T y R en aceite	A229	0,19	0,5-12,7	1855
Alambre estirado duro	A227	0,19	0,7-12,7	1783
Alambre al cromo vanadio	A232	0,17	0,8-11,1	2005
Alambre al cromo silicio	A401	0,11	1,6-9,5	1974
Alambre inoxidable	A313	0,15	0,3-2,50	1867
Alambre de bronce fosforado	B159	0,028	0,1-0,06	1000

1.8.3. Dimensionamiento y cálculo de resortes

Para el cálculo de resortes de sección circular se basa en tres ecuaciones básicas, las mismas que garantizan una correcta selección de dimensiones del resorte sometido a fuerzas de tracción [34].

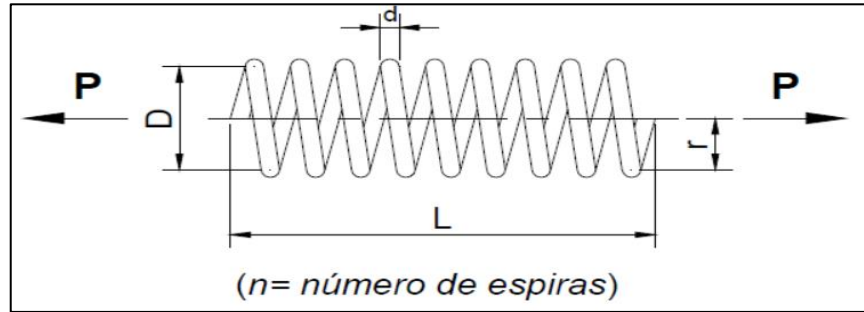


Figura 17. Resorte de sección circular [34]

1.8.3.1. Diámetro del hilo del resorte

El diámetro de la sección circular de un resorte helicoidal de forma cilíndrica se calcula mediante la siguiente ecuación

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot P \cdot r}{\pi \cdot Rc}} \quad (7)$$

Donde

P : Capacidad de carga del resorte

r : Radio del resorte

Rc : Esfuerzo de trabajo admisible

d : Diámetro del hilo del resorte

1.8.3.2. Carga del resorte

Es la capacidad máxima que puede soportar el resorte sin sufrir deformaciones irreversibles. El cálculo de esta carga se da mediante la siguiente ecuación.

$$Pr = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot Rc}{16 \cdot r} \quad (8)$$

1.8.3.3. *Número de espiras del resorte*

El número de espiras en un resorte helicoidal cilíndrico se obtiene a través de la siguiente ecuación

$$N_e = \frac{L_r}{d} \quad (9)$$

Donde

N_e : Número de espiras

L_r : Longitud del resorte

1.8.3.4. *Flexión del resorte*

Es el desplazamiento del resorte una vez aplicada la carga para obtener este dato se aplica esta ecuación

$$f_r = \frac{64 \cdot N_e \cdot Pr \cdot r^3}{E \cdot d^4} \quad (10)$$

Donde

f_r : Flexión del resorte

Pr : Carga que soporta el resorte

E : Módulo de Elasticidad

1.8.3.5. *Esfuerzo Cortante*

Mediante las ecuaciones de la estática, el cortante máxima en la sección circular del resorte helicoidal se produce mediante la fuerza cortante que ejerce sobre el centro de la sección y el par que actúa sobre el plano de la sección en sentido horario como se muestra en la Figura 18 [36].

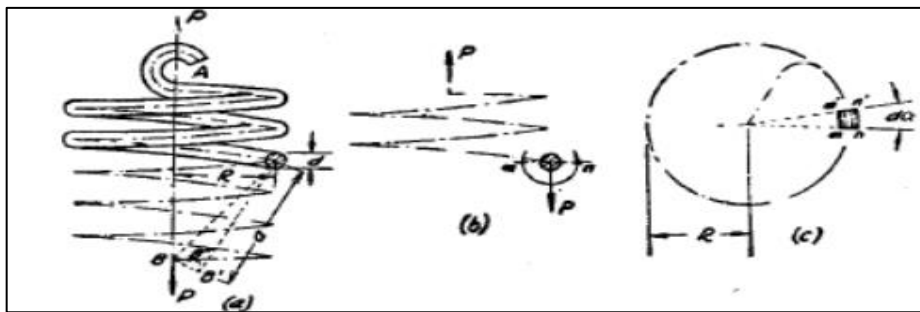


Figura 18. Cortante máxima en un resorte helicoidal [36]

El cálculo del cortante máximo se obtiene mediante la siguiente ecuación

$$\tau_r = \frac{16 \cdot Pr \cdot r}{\pi \cdot d^3} + \frac{4 \cdot Pr}{\pi \cdot d^2} \quad (11)$$

Donde

τ_r : Cortante máximo

1.9. Tornillo de potencia

El tornillo de potencia es un elemento que se utiliza en ciertos tipos de máquinas, cuya función principal es cambiar de un movimiento angular a uno lineal adicionalmente transmiten potencia. Las aplicaciones más comunes para el uso de este dispositivo son: tornos, prensas y gatos manuales [35].

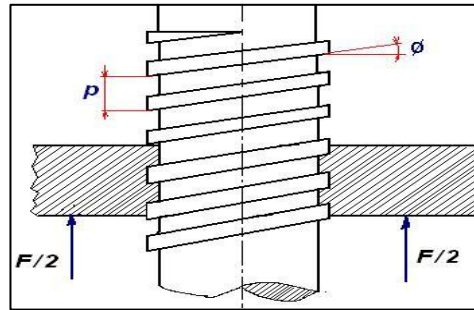


Figura 19. Esquema del tornillo de potencia [35]

1.9.1. Materiales para tornillos de potencia

Generalmente los tornillos de potencia se construyen en aceros al carbón, o aleados como AISI 1018, 1045, 1060, 4130, 6150, 8620. En ambientes corrosivos o para elevadas temperaturas se fabrican en aceros inoxidable como AISI 304, 305, 316, 430, y 440 [37].

Tabla 11 Resistencia a la tensión de diferentes materiales [37]

Material	Número	Resistencia a la fluencia (MPa)	Resistencia última (MPa)	Resistencia a la fractura (MPa)
Acero	1018	220	341	628
Acero	1045	1520	1580	2380
Acero Inoxidable	303	241	601	1520
Acero Inoxidable	304	276	568	1600

La figura 20 ilustra la mayoría de formas de rosca estándar usada para los tornillos que transmiten potencia.

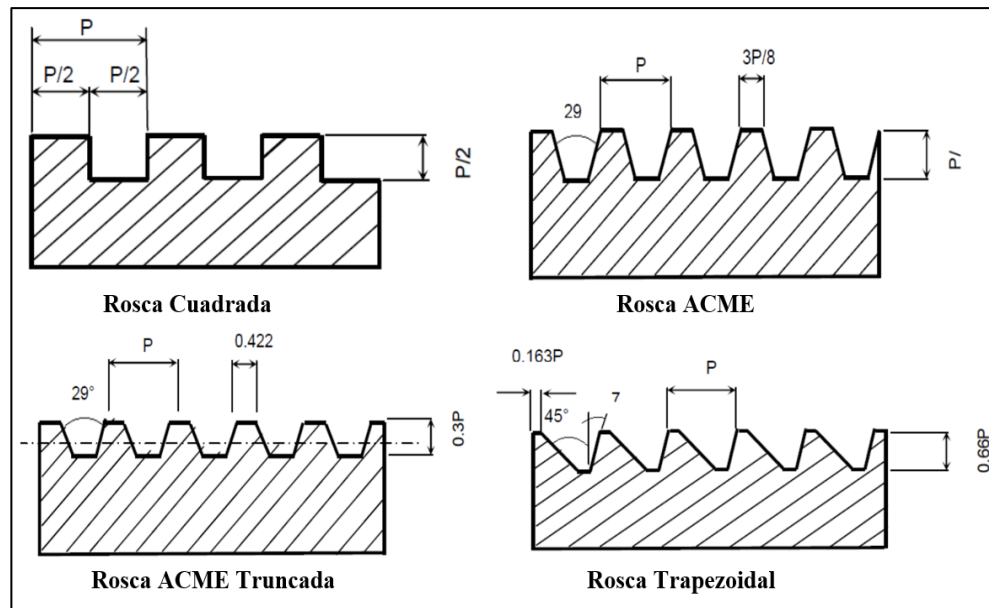


Figura 20. Formas del filete para tornillos de potencia [38]

La rosca de perfil cuadrado da una eficiencia mayor, pero su uso no es muy común debido a las dificultades para manufacturar el ángulo de 0° en la rosca. El ángulo de 5° de la rosca de perfil cuadrado modificada supera parcialmente estas objeciones. Mientras que la rosca trapezoidal se utiliza para soportar grandes fuerzas axiales en una dirección y poseen un ángulo de 7° [38].

1.9.2. Paso

Se define como la distancia que existe entre dos filetes adyacentes los cuales son medidos paralelamente al eje del tornillo como lo indica la Figura 21 [39].

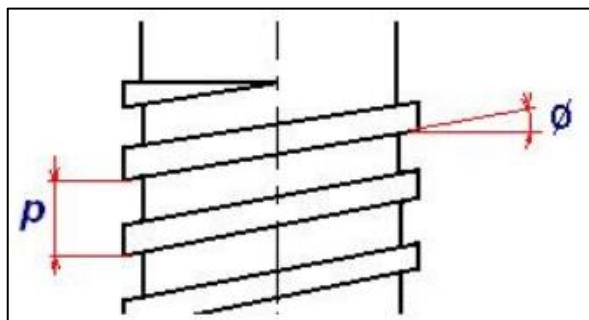


Figura 21. Paso en el tornillo de potencia [35]

1.9.3. Avance

Distancia a la cual se desplaza la tuerca cuando se produce un giro de 360° o una vuelta completa. Para el caso particular de la rosca de una sola entrada el paso es igual al avance, como se detalla en la Figura 22 [39].

1.9.4. Número de entradas

La rosca puede estar formada por uno dos o tres filetes que se enrollan en espiral sobre el eje [40], como se ilustra en la Figura 22.

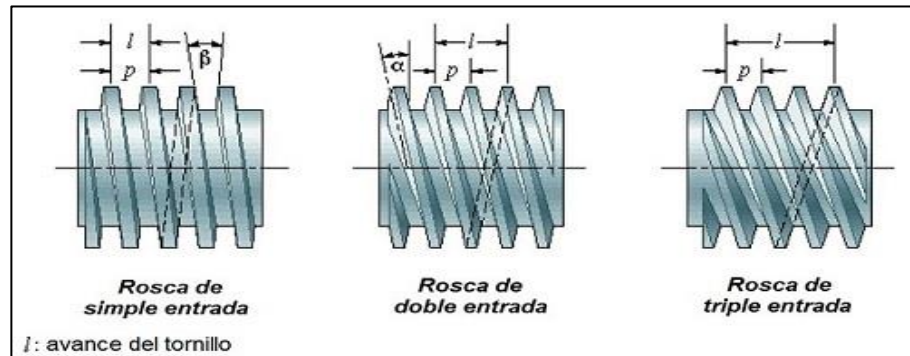


Figura 22. Número de entradas para las roscas [40]

1.9.5. Par torsión

Es el par torsor que se requiere para superar la fricción de la carga y comprimir el ensilaje [35].

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_R = \frac{P \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot f \cdot d_m - 1}{\pi \cdot d_m + f \cdot l} \right) \quad (12)$$

Donde:

T_R : Par de Torsión

F : Fuerza Axial

l : Paso

d_m : Diámetro medio

f : Coeficiente de fricción

Tabla 12. Coeficiente de fricción f de pares roscados [41]

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Hierro Fundido
Acero-Seco	0,15-0,25	0,15-0,23	0,15-0,19	0,15-0,25
Acero, aceite para máquina	0,11-0,17	0,10-0,16	0,10-0,15	0,11-0,17
Bronce	0,08-0,12	0,04-0,06	_____	0,06-0,09

1.9.6. Esfuerzo cortante en el tornillo de potencia

El esfuerzo cortante en el cuerpo del tornillo de potencia se relaciona con los parámetros del tipo de rosca y el par torsor mediante la siguiente ecuación [35].

$$\tau_t = \frac{16 \cdot T_R}{\pi \cdot d_r^3} \quad (13)$$

Donde:

τ_t : Esfuerzo Cortante del tornillo

d_r : Diámetro menor

1.9.7. Esfuerzo Axial

El esfuerzo axial σ_A en el cuerpo del tornillo debido a la carga F se denota mediante la siguiente ecuación [38].

$$\sigma_A = \frac{P}{A} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_r^2} \quad (14)$$

Donde:

σ_A : Esfuerzo Axial

1.9.8. Esfuerzo de Von Mises

Se define como un esfuerzo resultante de tensión que genera una idéntica energía de distorsión que la composición real de los esfuerzos aplicados. Este concepto permite relacionar los esfuerzo combinados sometidos a tensión y cortante como una carga a tensión pura [42].

Para este cálculo se aplica la ecuación 15 que se muestra a continuación.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (15)$$

Donde:

σ' : Esfuerzo de Von Mises

τ_{xy} : Esfuerzo cortante

Para garantizar que el resultado del esfuerzo calculado de Von Mises, sea correcto, Budynas et al. Establecen la siguiente condición.

$$\sigma' \leq S_y \quad (16)$$

Donde:

S_y : Resistencia a la fluencia del material

1.9.9. Factor de Seguridad

El factor de seguridad o índice de seguridad representa la capacidad de excesos que posee el sistema sobre el requerimiento de su trabajo. Se expresa mediante la relación entre la resistencia a la fluencia del material utilizado sobre el valor real del esfuerzo que se encuentra sometido el sistema. Por esta razón el valor debe ser mayor a uno para garantizar su aplicación. La obtención de este coeficiente se obtiene mediante la ecuación 17 [35].

$$\sigma' = \frac{S_y}{F_s} \quad (17)$$

Donde:

F_s : Factor de Seguridad

1.10. Soldadura

Se describe a la soldadura como un proceso en el que se adhieren piezas metálicas a través del recalentamiento de las superficies hasta un estado de fusión el cual permite que los segmentos se unan. Este proceso se puede llevar a cabo con el aporte de un material externo fundido (electrodo) o sin el uso del mismo [28].

La figura 23 muestra los principales procesos empleados en la soldadura,

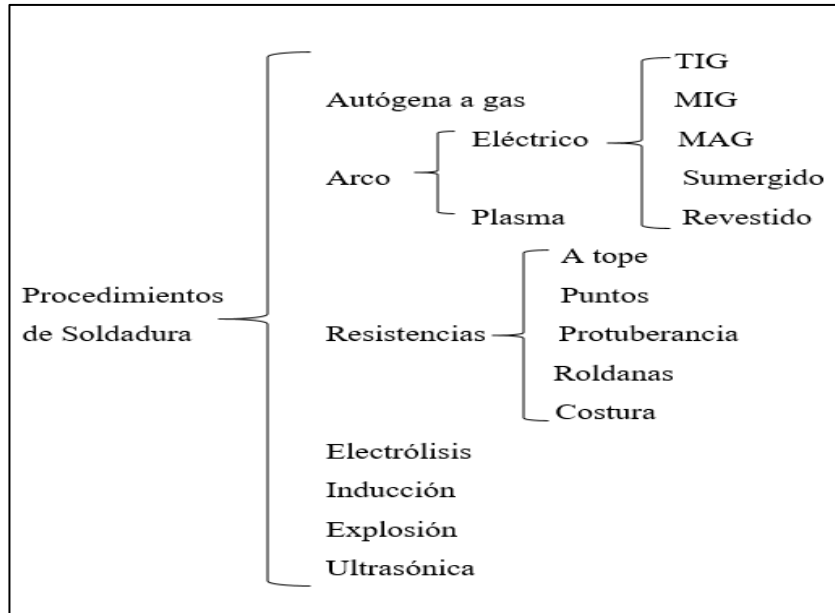


Figura 23. Procesos de soldadura y su clasificación [28]

La soldadura aplicada de una manera adecuada llega a ser tan resistente como el material que fue fundido al mismo, pero si no es aplicado de manera correcta ocasionaría un ensamble muy debilitado debido a espacios o fallas generadas en la unión [28].

1.10.1. Soldadura (SMAW)

La soldadura por arco con electrodo revestido utiliza un material de aporte externo llamado electrodo el cual posee una varilla de un material fundente en el interior. Conforme se produce la soldadura el material fundido ingresa hacia el charco para revestirlo a la superficie de la placa adicionalmente se genera un gas de protección el cual evita que ingrese aire a la soldadura para evitar la oxidación. Este proceso se aplica generalmente en reparaciones de campo [42].

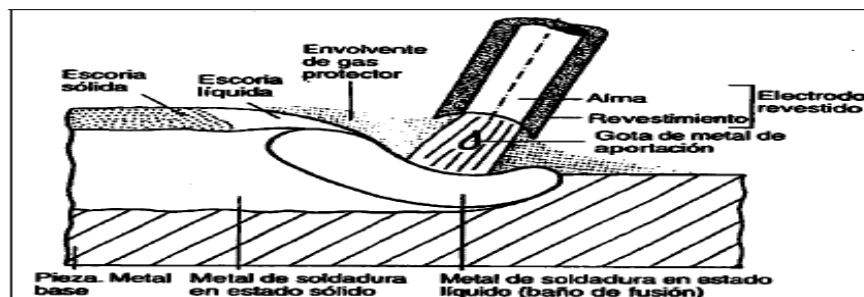


Figura 24. Descripción del proceso SMAW [43]

1.10.2. Tipo de corriente

Este tipo de soldadura se puede realizar de dos maneras con corriente continua o alterna. La selección entre una u otra dependerá de los siguientes factores: material base y electrodos. Cabe recalcar que para la soldadura del aluminio y sus aleaciones solo se pueden soldar mediante corriente continua [43].

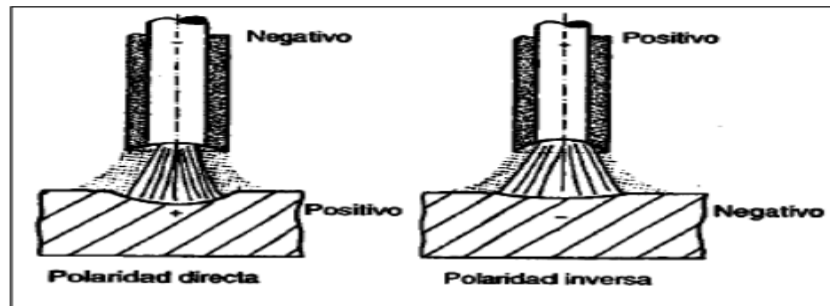


Figura 25. Corriente alterna y continua en la soldadura [43]

1.10.3. Electrodos

Elemento fundamental en este proceso el cual está constituido por dos factores esenciales, el núcleo metálico o también llamado alma. Filamento de sección circular que se utiliza como material de aporte, su selección está relacionada con el material del fragmento que se desea soldar. El revestimiento es un cilindro concéntrico que envuelve al núcleo metálico, mismo que se encarga de proteger el metal fundido del oxígeno y nitrógeno presentes en el aire además de producir una escoria que protege al metal fundido [43].

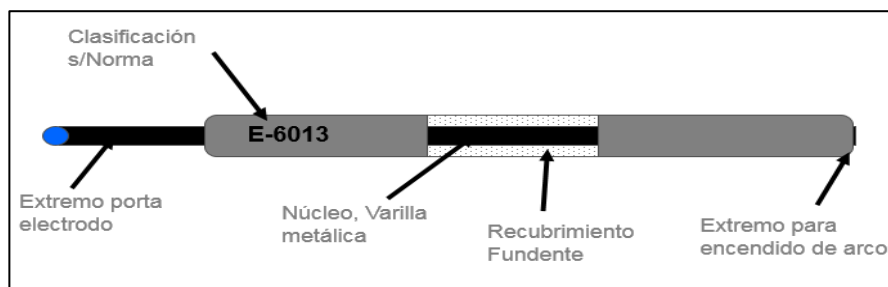


Figura 26. Partes del electrodo revestido [43]

1.10.4. Carga estática en soldadura

El cálculo de los esfuerzos en la soldadura es mucho más sencillo comparado con el cálculo de esfuerzos de los elementos de una máquina. Las cargas de compresión/tensión directa se generan al evitar las cargas a flexión en la soldadura [42].

1.10.4.1. *Esfuerzo normal*

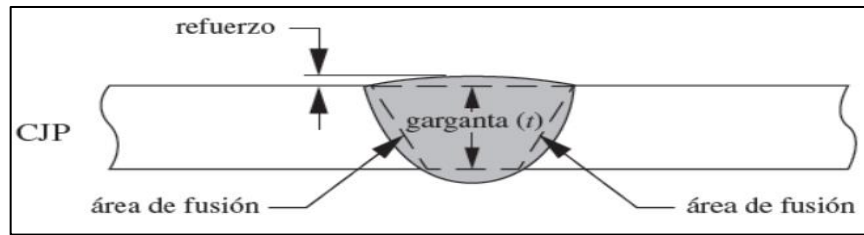


Figura 27. Esfuerzo normal en la soldadura SMAW [42]

El esfuerzo normal para una soldadura a tope y de filete a tensión o compresión está dado por la siguiente ecuación.

$$\sigma_N = \frac{F}{h \cdot l} \quad (18)$$

Donde:

σ_N : Esfuerzo Normal

F : Carga a tensión

h : Garganta de la soldadura

l : Longitud de la soldadura

Para garantizar el esfuerzo normal de la soldadura es necesario que cumpla la siguiente condición.

$$\frac{F}{h \cdot l} = \sigma_{adm} \leq 0.6 \cdot Sut \quad (19)$$

Donde:

Sut : Esfuerzo último del material

1.10.4.2. *Esfuerzo Cortante*

Para carga estática, la AWS (American Welding Society) recomienda que el esfuerzo cortante en la soldadura de filete se limite al 30% del Et [42].

$$\tau_s = 0.30 \cdot Et \quad (20)$$

Donde:

τ_s : Esfuerzo cortante de la soldadura

E_t : Resistencia a la tensión del electrodo.

Las propiedades de los electrodos varían mucho dependiendo de los elementos químicos utilizados para la fabricación de los mismos. La Tabla 13 describe las propiedades físicas de los electrodos más utilizados en el país [35].

Tabla 13. Resistencias a tensión y fluencia de los electrodos principales [35]

Número de electrodo AWS	Resistencia a la tensión, kpsi (Mpa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (Mpa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17

El tamaño mínimo de la soldadura que se necesita para garantizar la fusión y penetración del metal se relaciona con base en el espesor de las piezas que se desea ensamblar. La tabla 14 describe estos tamaños mínimos de la garganta en la soldadura que se requieren para certificar el proceso [42].

Tabla 14. Espesores del metal base y tamaño de la soldadura [42]

Espesor del metal base (T)	Tamaño mínimo de la soldadura
Tamaño en milímetros	
$T \leq 6$	3
$6 < T \leq 12$	5
$12 < T \leq 20$	6

1.11. Dimensionamiento de la superficie para la compactación

La densidad del ensilaje nos permite calcular y diseñar el contenedor con respecto al peso establecido que se desea compactar. Este proceso se enfoca en garantizar la forma preestablecida una vez que el ensilaje sea compactado para facilitar el almacenamiento y conservación del mismo [44].

$$V = \frac{W}{\partial_E} \quad (21)$$

Donde:

V : Volumen del contenedor de ensilaje

W : Masa del ensilaje

∂_E : Densidad del ensilaje

Cabe recalcar que las condiciones básicas en el proceso del ensilaje es la necesidad de cortar el maíz con una humedad del 70 y 75 %, para establecer un valor nominal de la densidad en la provincia de Cotopaxi a través de la siguiente tabla [45].

Tabla 15. Densidad del ensilaje para diferentes masas [45]

Masa del ensilaje [kg]	Densidad del ensilaje [kg/m ³]
50	865
450	940

1.12. Rodamientos

En la construcción de la máquina compactadora se utilizaron dos clases de rodamientos, axiales y radiales para poder generar el movimiento del tambor recolector. Para disminuir en lo posible el uso de fuerza en la operatividad, siendo una máquina apta para cualquier tipo de operario [46].

La Figura 28 muestra el tipo de rodamiento y su clasificación según su aplicación

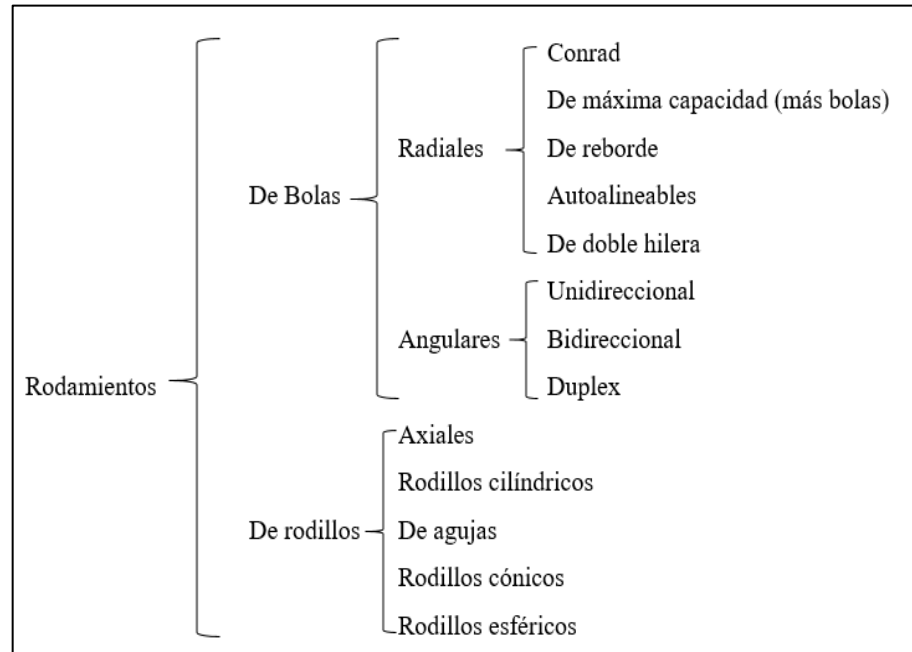


Figura 28. Tipos de rodamientos [46]

Por tanto, se analizará los rodamientos de bolas radiales y axiales utilizados en la máquina.

1.12.1. Rodamientos radiales

Los rodamientos de bolas radiales autoalineantes visualizados en la Figura 29 compensan los desalineamientos producidos por las deformaciones del: eje, soporte y alojamiento. Los cuales se dividen a su vez en dos tipos, autoalineantes internamente y externamente [46]. El rodamiento autoalineable internamente va a ser aplicado en la máquina compactadora de ensilaje.

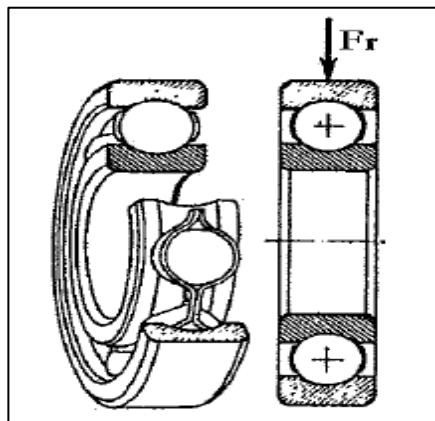


Figura 29. Esquema de rodamiento radial autoalineable interno [46]

1.12.2. Rodamientos axiales

Describe a los rodamientos axiales presentados en la Figura 30, están diseñados para soportar cargas axiales puras, en el diseño propuesto se refiere al peso del tambor recolector el cual tiene un peso de 35 kg, sin tomar en cuenta nervios que están empernados al eje de giro del rodamiento [46].

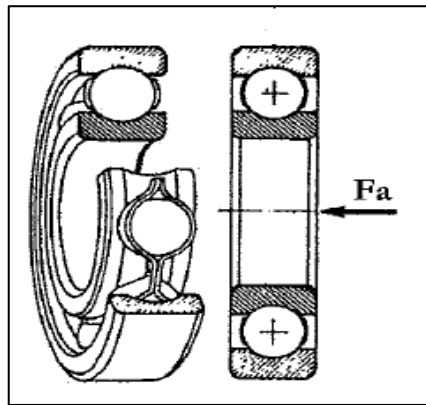


Figura 30. Esquema rodamiento axial [46]

1.12.3. Vida útil del rodamiento

Cuando los rodillos o rulimanes giran sobre las pistas o camisas surgen esfuerzos o tensiones variables en el tiempo creadas debido a las deformaciones, fatigas que provocan la fractura o incluso la rotura de los materiales y el fallo del rodamiento. En condiciones normales de funcionamiento, tomando en cuenta evitar que ingrese suciedad y polvo en el rodamiento, la fatiga se presenta por agrietamiento o descascarillado de las superficies que soportan la carga y se considera que aparece un fallo cuando aparece la primera señal de fatiga. La vida útil de un rodamiento se define como el número total de revoluciones que puede soportar o el total de horas de trabajo que resiste a una velocidad constante, necesarias para que aparezcan fallos en el funcionamiento [46, 47].

1.13. Pernos sometidos a esfuerzos cortantes

Un perno se encuentra sometido a esfuerzos de corte cuando las placas que se pretenden unir ejercen fuerzas externas en direcciones opuestas, ocasionando fracturas o rupturas en el vástago del perno. Por esta razón es necesario seleccionar un material adecuado que soporte las condiciones de trabajo.

Existen dos casos típicos a los cuales están expuestos los pernos: simple y doble cortadura como se muestra en la Figura 31. En el caso particular de la máquina compactadora se analizarán solo los de simple cortadura.

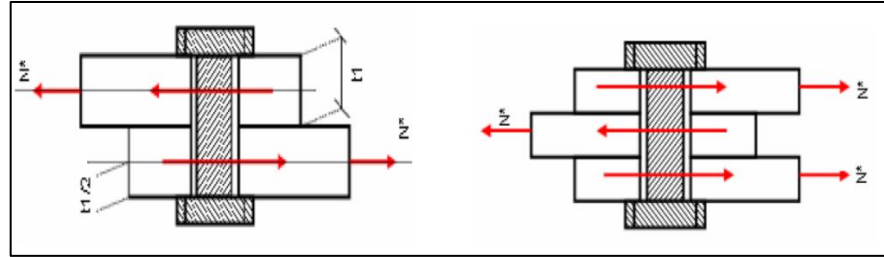


Figura 31. Pernos sometidos a simple y doble cortadura [39]

1.13.1. Diámetro del perno

En el cálculo del diámetro nominal del perno se establece la siguiente ecuación:

$$d_{pr} = \sqrt{0,7 \cdot e_s} - 0,2 \quad (22)$$

Donde:

d_{pr} : Diámetro nominal del perno

e_s : Espesor promedio de las placas

1.13.2. Fuerza máxima resistente al corte

La fuerza máxima que puede soportar el perno en la sección del vástago relacionada con las placas en contacto establecen la Ecuación 23. Es necesario realizar un pre-cálculo del área de sección entre el perno y vástago mediante la siguiente ecuación.

$$A_s = \frac{\pi \cdot d_{pr}^2}{4} \quad (23)$$

$$F_{mv} = \frac{0,6 \cdot Sup \cdot A_s}{n_p} \quad (24)$$

Donde:

F_{mv} : Carga máxima resistente al corte

Sup : Resistencia última a tracción

A_s : Área de sección entre el vástago y las placas

n_p : Factor de seguridad. Para tornillos de alta resistencia = 1,5

Tabla 16. Límite elástico (Syp) y resistencia última a tracción (Sup) para pernos [48]

Tipo de tornillo	5,6	5,8	6,8	8,8	10,9
$Syp \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	300	400	480	640	900
$Sup \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	500	500	600	800	1000

1.13.3. Número de pernos

El número de pernos relaciona la carga máxima resistente al corte que debe soportar cada perno frente a la fuerza cortante calculada a través de la Ecuación 25.

$$N_{pr} = \frac{F_{mv}}{F_c \cdot n_p} \quad (25)$$

Donde:

F_c : Fuerza cortante

1.14. Esfuerzo de compresión del ensilaje

La compresión se define como el esfuerzo al que se encuentra sometido un objeto mediante fuerzas que operan en un mismo sentido generando una disminución en su volumen como lo indica la Figura 32.

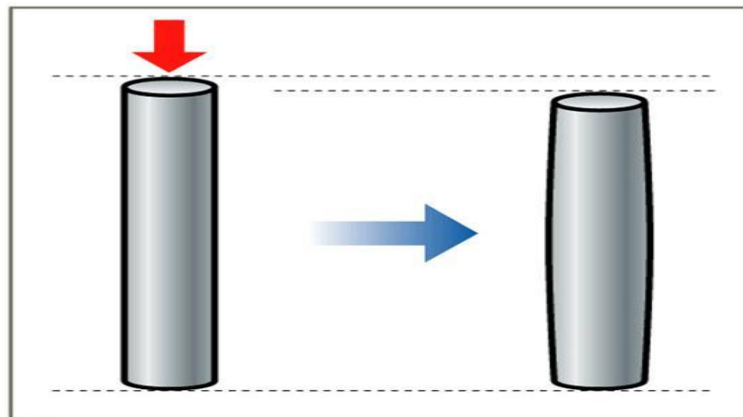


Figura 32. Compresión de una pieza [49]

Bajo este criterio se puede decir, que la compresión es el resultante de las tensiones que existe dentro de un cuerpo deformable, caracterizado por una reducción en su volumen en una dirección determinada [29]. Para calcular este esfuerzo se divide la fuerza aplicada sobre el cuerpo entre el área de sección transversal del mismo como se muestra en la Ecuación 26.

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_e} \quad (26)$$

Donde:

σ_c : Esfuerzo de compresión

P_c : Fuerza de compresión

A_e : Área de la sección transversal del ensilaje

1.15. Esquema de la compactadora de ensilaje

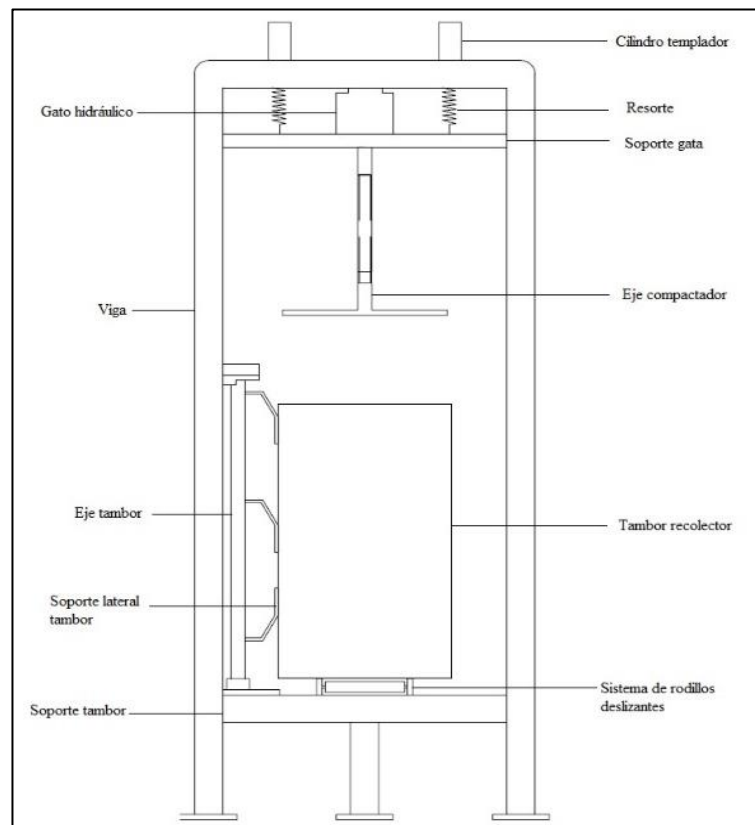


Figura 33. Esquema de la máquina compactadora

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

CAPÍTULO II

DISEÑO DE LA MÁQUINA COMPACTADORA

2. Generalidades

Este capítulo analiza el dimensionamiento de los elementos de la máquina compactadora de ensilaje, adicionalmente la selección idónea de materiales con respecto a los esfuerzos de fluencia permisible de cada material, para los perfiles, columnas y tornillo de potencia. El tipo de soldadura que se va a emplear en el proceso de construcción de la máquina basado en un análisis teórico y práctico.

El cuerpo central de este capítulo se enfoca en un análisis estático de los elementos debido a que las velocidades de trabajo en el proceso de compactación manual del ensilaje son bajas. A través del cálculo de los esfuerzos axiales, cortantes, tracción y compresión, que se encuentran sometidos los elementos con sus respectivos factores de seguridad.

2.1. Datos de diseño

Acero AISI 1018

Resistencia a la Fluencia $S_y = 220$ [MPa]

Resistencia última $S_{ut} = 341$ [MPa]

Módulo de elasticidad $E = 2,1 \times 10^6$ $\left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$

Acero templado

Módulo de elasticidad $E = 1 \times 10^6$ $\left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$

Acero A-36

Densidad $\delta = 7860$ $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

Resistencia a la Fluencia $S_y = 2531$ $\left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$

2.2. Dimensionamiento de la superficie para la compactación

El volumen de la superficie de compactación se calcula mediante la Ecuación 21, previo a esto es necesario extrapolar el valor de 25 kg de la Tabla 15, obteniendo un peso específico de $860,204 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$, el mismo que se reemplaza en la ecuación previamente mencionada.

$$V = \frac{W}{\rho_E} \quad (21)$$

$$V = \frac{25 \text{ [kg]}}{860,204 \left[\frac{kg}{m^3} \right]}$$

$$V = 0,029 \text{ [m}^3\text{]}$$

Con el volumen calculado se diseña una superficie cilíndrica, que servirá como molde para el ensilaje, posterior al proceso de compactación. El cual posee un diámetro de 29 cm y una altura de 44 cm.

2.3. Análisis de pruebas

Para determinar la fuerza necesaria que requiere compactar 25 kg de ensilaje de maíz se establecieron varias pruebas en el laboratorio de la universidad, con la ayuda de una prensa universal obteniendo así el diagrama carga-desplazamiento como se muestra a continuación.

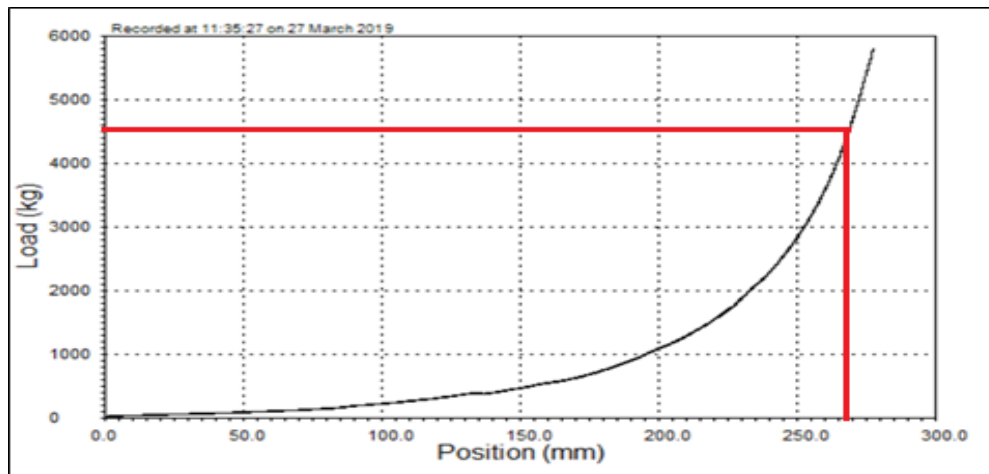


Figura 34. Diagrama carga-desplazamiento del compactado

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

Al analizar el diagrama de la Figura 34 y mediante varias pruebas de compactación, se determinó que es necesario una fuerza de 4500 kgf equivalente a 4,5 toneladas, para compactar los 25 kgf a un volumen de 0,016 [m³]. Por el contrario, al aplicar la carga de 5782,70 kgf se produjo un desbordamiento del líquido por las aristas de la superficie construida concluyendo así que esta carga es excesiva para el proceso.

2.4. Selección de alternativas

2.4.1. Máquina compactadora con sistema bomba-cilindro (Alternativa 1)

Este sistema está conformado por una bomba hidráulica a velocidad constante, misma que dispone de una válvula de alivio para evitar las sobrepresiones. El conjunto tiene una capacidad de producir 10 toneladas mediante un cilindro simple efecto con una carrera de 150 mm y un embolo de diámetro 50 mm. Este equipo puede operar en cualquier posición [50].

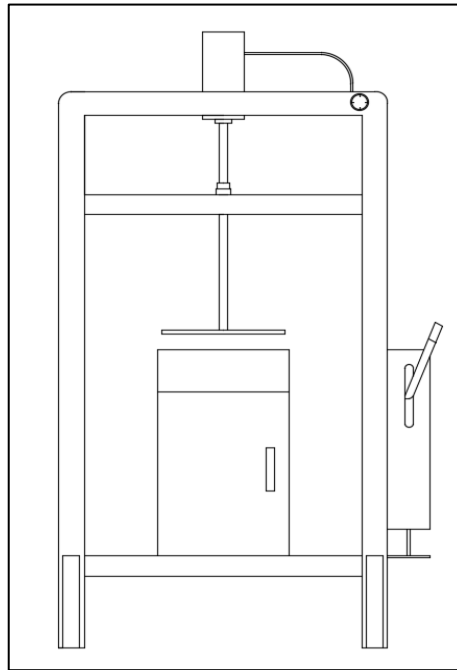


Figura 35. Máquina compactadora bomba-cilindro [50]

2.4.2. Máquina compactadora con sistema de gato hidráulico (Alternativa 2)

Este sistema es compacto el cual consta de un depósito en forma de botella, mismo que se encuentra dividido por dos cámaras. La primera contiene el fluido (aceite) y la segunda es un cilindro embolo que es accionado mediante una bomba de pistón en la base del sistema.

Este equipo tiene de una capacidad de producir 5 toneladas con una carrera de 185 mm [50].

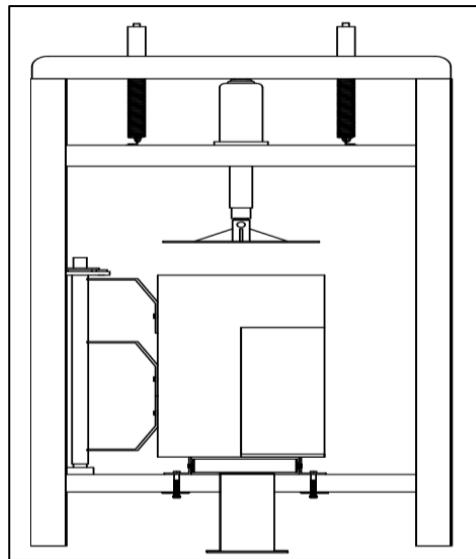


Figura 36. Gato hidráulico tipo botella
Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

2.4.3. Máquina compactadora con tornillo de potencia (Alternativa 3)

Este equipo dispone de un tornillo de potencia con un roscado trapezoidal el cual permite soportar elevadas cargas, adicionalmente posee una rosca de doble entrada para un mejor desplazamiento longitudinal. El sistema está incorporado a un volante de inercia que se encarga de transmitir fuerza al tornillo para la compactación.

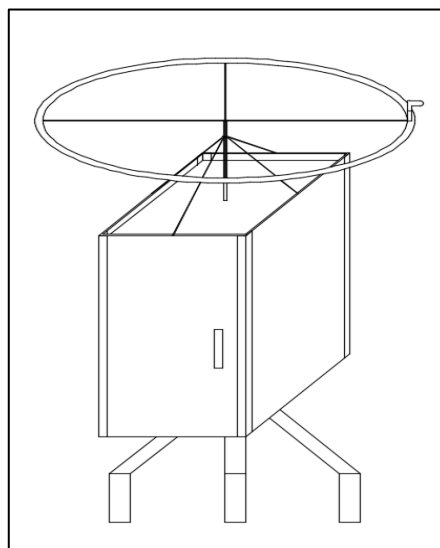


Figura 37. Máquina compactadora con tornillo de potencia
Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

La Tabla 17 muestra una ponderación de las alternativas más viables del sistema hidráulico que se va a emplear para la máquina compactadora. Para la selección ideal se calificó con un rango de 1-10 siendo: 9-10 (Excelente), 7-8 (Buena), 5-6 (Regular).

Tabla 17. Ponderación de alternativas

Análisis de alternativas			
Máquina			
Descripción	Sistema bomba-cilindro	Gato hidráulico	Tornillo de potencia
Funcionalidad	9	8	7
Instalación en la máquina	7	9	8
Mantenimiento	8	9	8
Durabilidad	8	8	8
Facilidad de adquisición	6	10	7
Costo	6	10	7
Ponderación	7,16	9	7,5

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

El análisis de la Tabla 17 entre las tres opciones, refleja que la máquina compactadora con el sistema de gato hidráulico es el más idóneo para los parámetros establecidos en el proceso de compactación del ensilaje, además son mucho más comerciales en el mercado por esto su precio es menor en comparación a los otros lo cual hace que el proyecto sea mucho más rentable.

A continuación, se detallarán los criterios utilizados en los parámetros de la Tabla 17:

- **Funcionalidad:** Se analiza desde el punto de vista operativo-máquina, siendo eficiente cuando menos esfuerzo deba realizar el mismo, por lo cual lo ideal sería contar con un sistema de bomba con cilindro, pero dadas las necesidades de la máquina no se ajusta a

los parámetros requeridos para este proceso por lo cual se optó por el sistema hidráulico tipo botella.

- **Instalación en la máquina:** Para el presente criterio se tomó en cuenta el tiempo de instalación y la forma de acoplarse a la estructura, siendo más fácil, menor tiempo el sistema hidráulico tipo botella.
- **Mantenimiento:** Las razones en que se calificaron a las tres alternativas, fue en el grado de capacitación que se necesita para realizar el mantenimiento por el uso de herramientas, siendo más factible el mantenimiento en el sistema hidráulico tipo botella
- **Durabilidad:** Este parámetro se enfoca en la vida útil del equipo frente a la operación de trabajo, los tres equipos presentan una durabilidad buena.
- **Facilidad de adquisición:** Para la adquisición se tomó en cuenta la oferta del mercado, siendo más demandados los sistemas hidráulicos tipo botella a diferencia del sistema de bomba-cilindro o el tornillo de potencia para compactar.
- **Costo:** Para el costo se realizó una comparativa para la adquisición siendo más económico y factible el gato hidráulico.

2.5. Diseño de la alternativa seleccionada

2.5.1. Introducción

Mediante el análisis de alternativas y la ponderación de la Tabla 17 se optó por la alternativa del sistema hidráulico tipo botella como se ilustra en la Figura 36, por su fácil mantenimiento, bajo costo, y oferta en el mercado. Al ser un elemento muy demandado, y de fácil operatividad. Se seleccionó como el idóneo en el montaje de la máquina compactadora de ensilaje. Adicionalmente la fuerza que se requiere para compactar el rastrojo es similar a la que dispone los sistemas hidráulicos tipo botella haciendo al sistema más viable y la alternativa más viable.

En la Figura 38 se muestra el diseño de la máquina de la alternativa seleccionada.

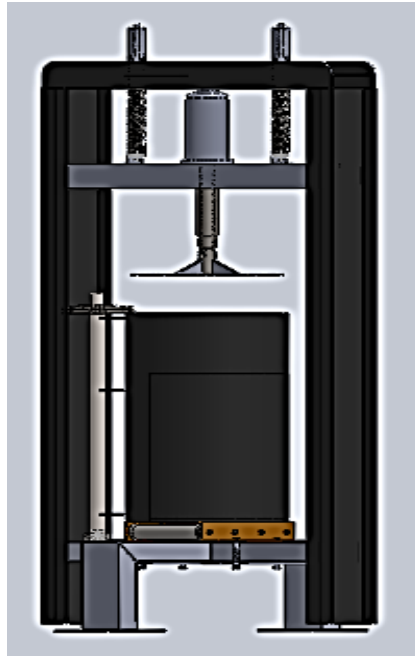


Figura 38. Diseño en 3D de la máquina compactadora de ensilaje
Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

2.6. Cálculo de vigas

2.6.1. Determinación de fuerzas y momentos

El análisis se realiza con todas las cargas aplicadas a la viga principal de la estructura con doble empotramiento como se muestra en la Figura 39.

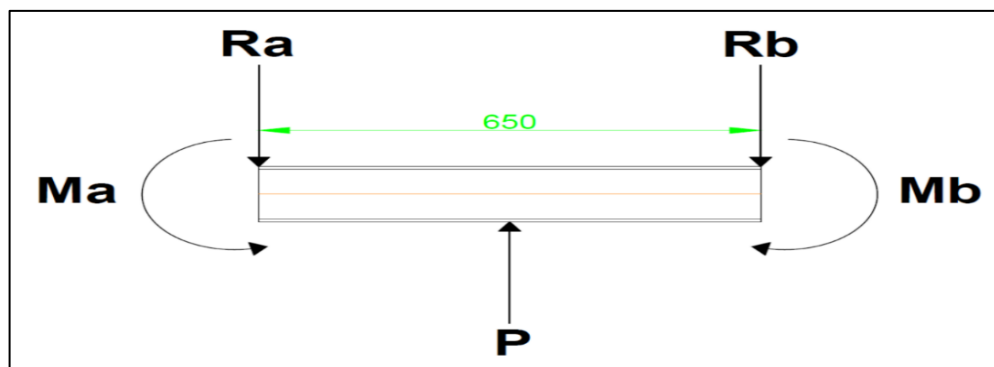


Figura 39. Diagrama de cuerpo libre en una viga con doble empotramiento
Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

El cálculo de las reacciones en los puntos A y B van a ser iguales debido a su simetría en la viga. La carga puntual P genera dos reacciones opuestas en los extremos de la viga por el doble empotramiento al cual se encuentra expuesta

Las reacciones se obtienen mediante la Ecuación 5.

$$Ra = Rb = \frac{P}{2} \quad (5)$$

$$Ra = Rb = \frac{4500 \text{ [kgf]}}{2}$$

$$Ra = Rb = 2250 \text{ [kgf]}$$

Se aplica el mismo concepto de simetría para el cálculo de momentos en los puntos A y B donde la viga posee el empotramiento doble y este valor se determina mediante la Ecuación 4.

$$Ma = Mb = \frac{P \cdot L}{8} \quad (4)$$

$$Ma = Mb = \frac{4500 \text{ [kgf]} \cdot 0,65 \text{ [m]}}{8}$$

$$Ma = Mb = 365,62 \text{ [kgf} \cdot \text{m]}$$

Con el cálculo obtenido de las reacciones y momentos se diseñan los diagramas del esfuerzo cortante y momento flector descritos en la Figura 40 para seleccionar la parte más crítica de la viga sometida por la carga puntual.

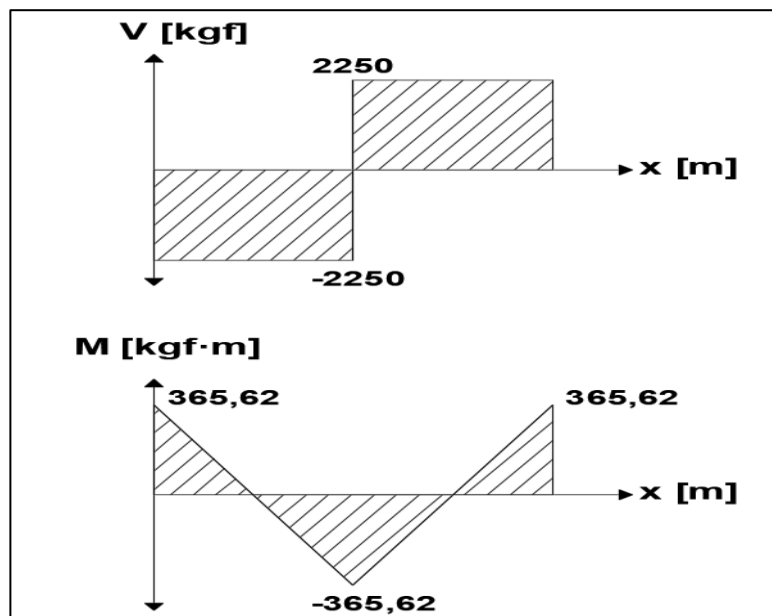


Figura 40. Diagrama Esfuerzo cortante y momento flector
Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

El valor del momento máximo del sistema es de 365,62 [kgf·m], se ingresa en la siguiente ecuación para la selección adecuada del perfil.

$$S_y = \frac{M_x}{F_b} \quad (27)$$

$$S_y = \frac{365,62 \text{ [kgf} \cdot \text{m]}}{0,66 \cdot 2,53 \times 10^7 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right]}$$

$$S_y = 2,19 \times 10^{-5} [\text{m}^3] = 1,33 [\text{pulg}^3]$$

Con este dato se selecciona del manual de acero de construcción del Anexo 4, un perfil W que cumpla esta condición. Por lo tanto, se determina la selección de un perfil W6x16. Pero las casas comerciales encargadas de la venta de perfiles en el país no disponen del mismo por ello se opta por un perfil IPE 120 detallado en el Anexo 5, con un módulo de sección transversal $S_y = 30,4 \text{ [cm}^3\text{]}$, superior al valor calculado para garantizar seguridad.

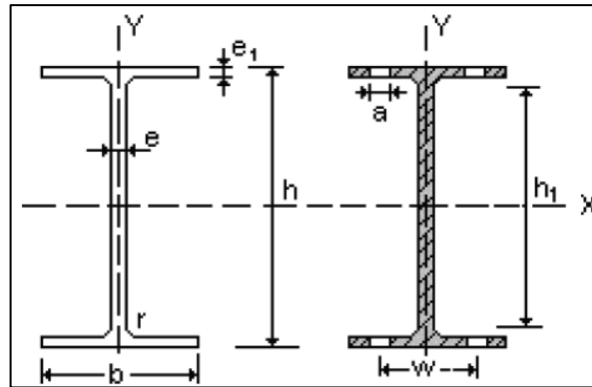


Figura 41. Esquema del perfil IPE [27]

Mediante la relación entre el momento máximo y el módulo de resistencia de la sección del perfil, Anexo 5, se obtiene el esfuerzo de trabajo de la viga sometido a carga.

$$\sigma_T = \frac{M_x}{W_y} \quad (28)$$

$$\sigma_T = \frac{36562,5 \text{ [kgf} \cdot \text{cm]}}{8,65 \text{ [cm}^3\text{]}}$$

$$\sigma_T = 4226,88 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

$$4226,88 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right] \geq 2531 \cdot 0,66 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

$$4226,88 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right] \geq 1670,46 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

El esfuerzo de fluencia multiplicado por un factor de seguridad es menor al esfuerzo de trabajo calculado, por lo tanto, es necesario soldar dos platinas fabricada en acero A36 para aumentar el módulo de resistencia en la zona critica del perfil IPE 120 donde se encuentra ejercida la fuerza de 4500 [kgf], previamente establecida en el proceso de compactación del ensilaje.

La Figura 42 muestra a detalle las dimensiones de las platinas y el perfil necesarias para precisar el centroide del conjunto y sus inercias.

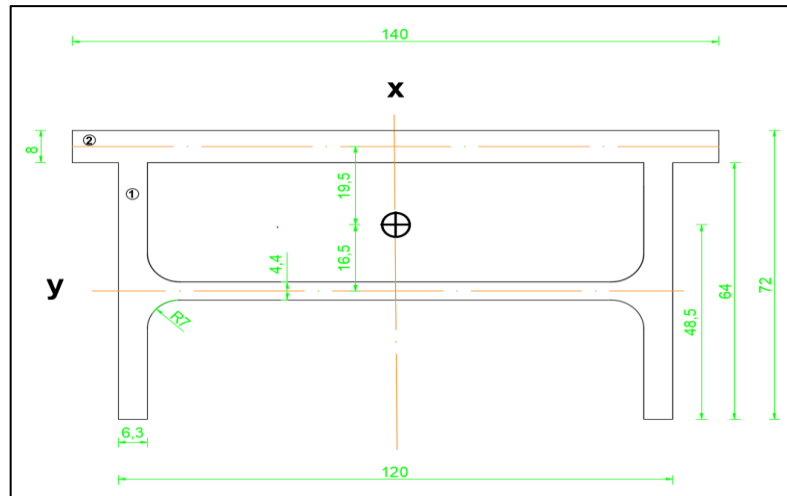


Figura 42. Esquema del perfil con las platinas
Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

Para calcular el centro de gravedad, es necesario determinar el origen de coordenadas que en este caso se optó por el centro del perfil y se aplica la Ecuación 29. Donde, A_1 y A_2 son las áreas del perfil (Anexo 5) y de las platinas respectivamente.

$$\bar{y} = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} \quad (29)$$

$$\bar{y} = \frac{13,2 [cm^2] \cdot 0 + (14 \cdot 0,8) [cm^2] \cdot 3,6 [cm]}{13,2 [cm^2] + (14 \cdot 0,8) [cm^2]}$$

$$\bar{y} = 1,65 [cm]$$

Las inercias se obtienen independientemente de cada uno de los elementos mediante la siguiente ecuación:

$$I_y = I_o + A \cdot d^2 \quad (30)$$

- Inercia del perfil IPE 120

$$I_{y1} = I_{o1} + A_1 \cdot d_1^2$$

$$I_{y1} = 27,7 [cm^4] + 13,2 [cm^2] \cdot 1,65^2 [cm^2]$$

$$I_{y1} = 63,68 [cm^4]$$

- Inercia de la platina de 14x0,8 [cm]

$$I_{y2} = I_{o2} + A_2 \cdot d_2^2$$

$$I_{y2} = \frac{1}{12} \cdot 14 [cm] \cdot 0,8^3 [cm^3] + (14 \cdot 0,8) [cm^2] \cdot 1,95^2 [cm^2]$$

$$I_{y2} = 43,18 [cm^4]$$

- Inercia total del conjunto

$$I_{yt} = I_{y1} + I_{y2} \quad (31)$$

$$I_{yt} = 63,68 [cm^4] + 43,18 [cm^4]$$

$$I_{yt} = 106,86 [cm^4]$$

El módulo de resistencia en la sección y se analiza a través de la Ecuación 32.

$$W_y = \frac{I_{yt}}{C} \quad (32)$$

$$W_y = \frac{106,86 [cm^4]}{4,85 [cm]}$$

$$W_y = 22,033 [cm^3]$$

Con este valor se vuelve a ingresar en la Ecuación 28 y se analiza el resultado.

$$\sigma_T = \frac{M_x}{W_y} \quad (28)$$

$$\sigma_T = \frac{36562,5 [kgf \cdot cm]}{22,033 [cm^3]}$$

$$\sigma_T = 1659,44 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

$$1659,44 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right] \leq 2531 \cdot 0,66 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

$$1659,44 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right] \leq 1670,46 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

Se cumple la condición en el que el esfuerzo de fluencia es mayor al esfuerzo calculado por lo tanto es correcto el uso de las platinas para reforzar el perfil IPE 120. A continuación, se realiza el cálculo del factor de seguridad mediante la Ecuación 33.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_T} \quad (33)$$

$$n = \frac{2531 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]}{1659,44 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]}$$

$$n = 1,52 \approx 2$$

La deflexión que se produce al ejercer la carga de 4500 [kgf] en la viga. Se calcula a través de la Ecuación 6.

$$\Delta = \frac{P \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I_y} \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{4500 [kgf] \cdot 0,65^3 [m^3]}{192 \cdot 2,53 \times 10^7 \left[\frac{kgf}{m^2} \right] \cdot 1,07 \times 10^{-6} [m^4]}$$

$$\Delta = 0,00021[m] = 0,21 [mm]$$

Para verificar que el valor de la deflexión calculada es aceptable se advierte que no debe superar a la relación de L/450 equivalente a 1,44 [mm].

$$0,21 [mm] \leq 1,44 [mm]$$

2.7. Cálculo de Columnas

En el diseño de las columnas sometidas a compresión se analiza el perfil IPE 120, bajo las cargas pre calculadas para garantizar su funcionalidad frente a las condiciones de trabajo como se muestra en la Figura 43.

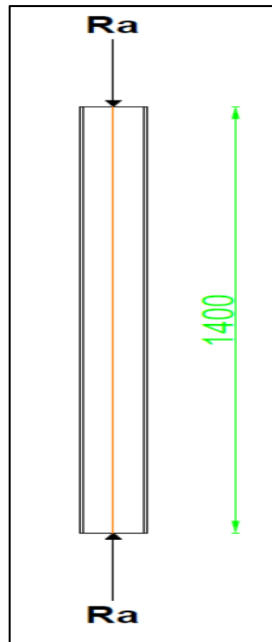


Figura 43. Esquema del perfil IPE
Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

El cálculo del radio de giro del perfil en los ejes; horizontal (x) y vertical (y), se obtiene mediante las ecuaciones 2 y 3 que se detallan a continuación. Para el valor de las inercias se obtiene del Anexo 5.

$$rx = \sqrt{\frac{Ix}{A}} \quad (2)$$

$$rx = \sqrt{\frac{318 [cm^4]}{13,2 [cm^2]}}$$

$$r_x = 4,91 \text{ [cm]}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (3)$$

$$r_y = \sqrt{\frac{27,7 \text{ [cm}^4\text{]}}{13,2 \text{ [cm}^2\text{]}}}$$

$$r_y = 1,45 \text{ [cm]}$$

Con los datos obtenidos se ingresan en la Ecuación 1 para determinar la esbeltez mecánica del perfil.

$$\lambda = \frac{K \cdot L_c}{r_{min}} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 1,40 \text{ [m]}}{0,0145 \text{ [m]}}$$

$$\lambda = 48,28$$

El manual del acero de construcción (Anexo 7), permite relacionar la esbeltez calculada con el esfuerzo admisible del perfil A36, mediante la interpolación, como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Esfuerzo admisible de compresión

Esbeltez (λ)	Esfuerzo admisible [KSI]
48	18,53
48,28	18,51
49	18,44

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

Este esfuerzo nos da la confiabilidad de que la columna pueda soportar la carga establecida.

$$F_a = 18,51 \text{ [KSI]} = 1301 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$P_a = F_a \cdot A \quad (34)$$

$$P_a = 1301 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right] \cdot 13,2 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$Pa = 17173,2 \text{ [kgf]}$$

$$Ra \leq Pa$$

$$2250 \text{ [kgf]} \leq 17173,2 \text{ [kgf]}$$

2.8. Cálculo de Resortes

2.8.1. Selección del Material

La selección del acero ASTM 227, se recomienda para la elaboración de resortes sometidos a tracción, debido a su composición química de: carbono (0,65 %), silicio (0,3 %) y manganeso (0,1 %), los cuales proporcionan un alto límite de elasticidad, apropiado en cargas estáticas y no para fatiga.

2.8.2. Dimensionamiento del resorte

Para el dimensionamiento del resorte a tracción es necesario determinar la masa total de todos los elementos con la ayuda de las formulas descritas en el presente capítulo que se describen a continuación:

– Masa del ángulo estructural tipo “L”

$$W_1 = 0,65 \text{ [m]} \cdot 4,32 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] \quad (44)$$

$$W_1 = 2,81 \text{ [kg]} \cdot 2 = 5,62 \text{ [kg]}$$

– Masa del gato hidráulico

$$W_2 = 10 \text{ [kg]}$$

– Masa del eje de compactación

$$W_3 = \delta \cdot v$$

$$W_3 = 7860 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot \pi \cdot 0,0127^2 [\text{m}^2] \cdot 0,27 [\text{m}]$$

$$W_3 = 1,07 \text{ [kg]}$$

–Masa del disco de compactación

$$W_4 = 7860 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot \pi \cdot 0,125^2 [m^2] \cdot 0,04 [m]$$

$$W_4 = 15,43 [kg]$$

Masa total

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$W_T = 5,62 [kg] + 10 [kg] + 1,07 [kg] + 15,43 [kg]$$

$$W_T = 32,12 [kg]$$

Fuerza total

$$P_T = W_T \cdot g \quad (35)$$

$$P_T = 32,12 [kg] \cdot 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$P_T = 315,13 [N] = 32,13 [kgf]$$

El prototipo de diseño de la máquina establece el uso de 2 resortes por lo tanto la fuerza total (P_T) se divide entre dos equivalente a $Pr = 16,07 [kgf]$.

El diámetro del hilo del resorte se genera a través de la Ecuación 7. El valor del esfuerzo de trabajo admisible para este acero es de $13000 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot Pr \cdot r}{\pi \cdot Rc}} \quad (7)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 16,07 [kgf] \cdot 1,45 [cm]}{\pi \cdot 13000 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]}}$$

Al valor calculado se multiplica por 1,4 para agregar un factor mínimo de seguridad, en el caso de añadir otro elemento.

$$d = 0,21 [cm] \cdot 1,4 = 0,29 [cm]$$

Mediante la Ecuación 8 se despeja el esfuerzo de trabajo admisible (R_c):

$$Pr = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot R_c}{16 \cdot r} \quad (8)$$

$$R_c = \frac{16 \cdot 16,07 [kgf] \cdot 1,45 [cm]}{\pi \cdot (0,29 [cm])^3}$$

$$R_c = 4865,86 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

Se cumple que el esfuerzo admisible del material es menor al esfuerzo de trabajo con respecto al diámetro del alambre del resorte.

$$4865,86 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right] \leq 13000 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

El número de espiras del resorte se define entre la relación de la longitud del resorte y el diámetro como indica en la Ecuación 9.

$$N_e = \frac{L_r}{d} \quad (9)$$

$$N_e = \frac{20 [cm]}{0,29 [cm]}$$

$$N_e = 68,26 \approx 69$$

La flexión que sufren los resortes por acción de la carga Pr se calcula mediante la Ecuación 10. El módulo de elasticidad se obtiene del Anexo 9

$$fr = \frac{64 \cdot N_e \cdot Pr \cdot r^3}{E \cdot d^4} \quad (10)$$

$$fr = \frac{64 \cdot 69 \cdot 16,07 [kgf] \cdot (1,45 [cm])^3}{2003742,4 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right] \cdot (0,29 [cm])^4}$$

$$fr = 15,26 [cm]$$

Finalmente se calcula el esfuerzo cortante del resorte helicoidal.

$$\tau_r = \frac{16 \cdot Pr \cdot r}{\pi \cdot d^3} + \frac{4 \cdot Pr}{\pi \cdot d^2} \quad (11)$$

$$\tau_r = \frac{16 \cdot 16,07 [kgf] \cdot 1,45 [cm]}{\pi \cdot (0,29 [cm])^3} + \frac{4 \cdot 16,07 [kgf]}{\pi \cdot (0,29 [cm])^2}$$

$$\tau_r = 5109,16 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

Para el esfuerzo cortante admisible que soporta el material se aplica la Ecuación 36. Mediante la Tabla 10, se establecen los parámetros correspondientes.

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad (36)$$

$$S_{ut} = \frac{1783 [MPa \cdot mm^m]}{0,29^{0,190} [mm^m]}$$

$$S_{ut} = 2251,37 [MPa] = 22957,58 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

$$\tau_{per} = 0,65 \cdot S_{ut}$$

$$\tau_{per} = 0,65 \cdot 22957,58 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

$$\tau_{per} = 14922,4 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

$$\tau_r \leq \tau_{per}$$

$$5109,16 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right] \leq 14922,4 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$$

Al analizar los resultados obtenidos del esfuerzo de trabajo admisible y el esfuerzo cortante del resorte, indican que es apto para las condiciones de trabajo ya que estos valores son menores a los esfuerzos admisibles del material seleccionado. Evitando así que los muelles sufran rupturas o deformaciones permanentes al aplicar la carga.

2.9. Cálculo de tornillo de potencia

2.9.1. Selección del material del tornillo de potencia

Para la construcción del tornillo se seleccionó el material AISI 1018, debido a que posee una alta resistencia mecánica, buena ductilidad, excelente soldabilidad y un fácil maquinado, como se muestra en los datos de diseño. Además, que es un material comercial en el país y su costo es relativamente económico [37].

2.9.2. Dimensionamiento del tornillo de potencia

El dimensionamiento del diámetro del tornillo de potencia se establece con la Ecuación 28 El módulo de elasticidad del acero AISI 1018 equivalente a $2,1 \times 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$ [35]. Adicionalmente se estableció una longitud de 20 [cm] para el tornillo de potencia. Como observación es necesario que los datos tengan las mismas unidades.

$$dt = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot P \cdot l^2}{\pi^3 \cdot E}} \quad (26)$$
$$dt = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 4500 [kgf] \cdot (20 [cm])^2}{\pi^3 \cdot 2,1 \times 10^6 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]}}$$
$$dt = 1,153 [cm] = 11,53 [mm]$$

El valor calculado del diámetro es 11,53 [mm], el cual no es un valor estandarizado, por esto del Anexo 10, se seleccionó un diámetro nominal de 26 [mm], del cual se obtienen los siguientes parámetros del tornillo para su diseño.

$$dt = \text{diámetro nominal} = 26 [mm]$$

$$dm = \text{diámetro medio} = 23,5 [mm]$$

$$dr = \text{diámetro menor} = 20,5 [mm]$$

$$h = \text{profundidad de la rosca} = 5,5 [mm]$$

$$l = \text{paso} = 5 [mm]$$

2.9.3. Esfuerzo Axial

El esfuerzo axial σ en el cuerpo del tornillo por la carga axial se denota mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma_A = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_t^2} \quad (14)$$

$$\sigma_A = \frac{4 \cdot 4500 [kgf]}{\pi \cdot (2,6 [cm])^2}$$

$$\sigma_A = 847,571 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right] = 83,11 [MPa]$$

2.9.4. Momento Torsional

Se obtiene mediante la Ecuación 12. Para el coeficiente de fricción f se selecciona de la Tabla 12, el material del tornillo y la tuerca elaborados en acero.

$$T_R = \frac{P \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot f \cdot d_m - 1}{\pi \cdot d_m + f \cdot l} \right) \quad (12)$$

$$T_R = \frac{4500 [kgf] \cdot 2,35 [cm]}{2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,15 \cdot 2,35 [cm] - 1}{\pi \cdot 2,35 [cm] + 0,15 \cdot 0,5 [cm]} \right)$$

$$T_R = 76,15 [kgf \cdot cm]$$

2.9.5. Esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante nominal en el cuerpo del tornillo se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$\tau_t = \frac{16 \cdot T_R}{\pi \cdot d_r^3} \quad (13)$$

$$\tau_t = \frac{16 \cdot 76,15 [kgf \cdot cm]}{\pi \cdot (2,015 [cm])^3}$$

$$\tau_t = 47,40 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right] = 4,65 [MPa]$$

2.9.6. Esfuerzo de Von Mises

Para el cálculo del esfuerzo equivalente o Von Misses se aplica la ecuación 15.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_t^2} \quad (15)$$

$$\sigma' = \sqrt{(83,11 \text{ [MPa]})^2 + 3 \cdot (4,65 \text{ [MPa]})^2}$$

$$\sigma' = 83,50 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma' \leq S_y$$

$$83,50 \text{ [MPa]} \leq 220 \text{ [MPa]}$$

2.9.7. Factor de seguridad

Previo al cálculo es necesario tomar de los datos de diseño del presente capítulo la resistencia a la fluencia del Acero AISI 1018 de la Tabla 11 y reemplazar en la Ecuación 37.

$$\sigma' = \frac{S_y}{F_s} \quad (37)$$

$$F_s = \frac{220 \text{ [MPa]}}{83,50 \text{ [MPa]}} = 2,63$$

$$F_s = 2,63$$

2.9.8. Momento Máximo

Para determinar el momento máximo del tornillo de potencia se lo considera como una viga en cantiléver como se muestra en la Figura 44, para la cual ya está definida la ecuación del momento.

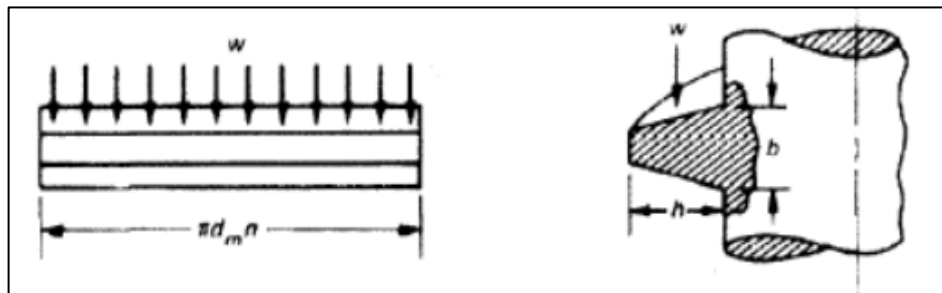


Figura 44. Carga del tornillo como viga en cantiléver [29]

$$M_{max} = \frac{P \cdot h}{2} \quad (38)$$

$$M_{max} = \frac{4500 [kgf] \cdot 0,55 [cm]}{2}$$

$$M_{max} = 1237,5 [kgf \cdot cm]$$

2.10. Dimensionamiento de la tuerca

Las tuercas en general son más dúctiles en comparación a los pernos debido a que permiten una ligera cedencia en los hilos de la tuerca, por esto la carga se distribuye con uniformidad entre los hilos de contacto.

2.10.1. Diámetro de la tuerca

El diámetro de la tuerca se lo calcula con la ecuación

$$D_T = 2 \cdot d \quad (39)$$

$$D_T = 2 \cdot 26 [mm]$$

$$D_T = 52 [mm]$$

2.10.2. Espesor de la tuerca

Para el cálculo del espesor de la tuerca se aplica la ecuación

$$E_T = \frac{7}{8} \cdot d \quad (40)$$

$$E_T = \frac{7}{8} \cdot 26 [mm]$$

$$E_T = 22,75 [mm]$$

2.11. Cálculo de soldadura en el cilindro de compactación

2.11.1. Selección del electrodo

Para la soldadura a tope del recipiente cilíndrico de compactación se emplea el uso del electrodo E6011, debido a que posee el mayor valor de elongación con un porcentaje del 25 %, adicionalmente el esfuerzo de fluencia es de 345 (Mpa) detallados en la Tabla 13 [36].

2.11.2. Esfuerzo Normal

El esfuerzo normal que debe soportar el cordón de soldadura sometido a compresión en el proceso de compactación establece una fuerza de 4500 [kg]. Timoshenko recomienda 5 [mm] para la garganta de la soldadura, en un espesor de plancha igual a 8 [mm], Tabla 14.

$$\sigma_N = \frac{P}{h \cdot l} \quad (18)$$

$$\sigma_N = \frac{4500 \text{ [kg]}}{0,5 \text{ [cm]} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 12,5 \text{ [cm]}}$$

$$\sigma_N = 114,592 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] = 11,237 \text{ [Mpa]}$$

$$\sigma_N \leq 0.6 \cdot Sut$$

$$11,237 \text{ [Mpa]} \leq 0.6 \cdot 345 \text{ [Mpa]}$$

$$11,237 \text{ [Mpa]} \leq 207 \text{ [Mpa]}$$

2.11.3. Esfuerzo Cortante

El esfuerzo cortante establece un factor del 30 % multiplicado por la resistencia a la tensión del electrodo seleccionado como se muestra en la Ecuación 20.

$$\tau_S = 0.30 \cdot Et \quad (20)$$

$$\tau_S = 0.30 \cdot 427 \text{ [Mpa]} = 128,1 \text{ [Mpa]}$$

$$\tau_S \leq Sut$$

$$128,1 \text{ [Mpa]} \leq 345 \text{ [Mpa]}$$

El análisis matemático de las condiciones para los esfuerzos normales y cortantes se cumplen por lo tanto la selección del electrodo E6011 es correcta para la unión del cilindro de compactación después de ser barolado.

2.12. Cálculo de soldadura en los perfiles

Para la unión de los perfiles con las columnas se optó por la soldadura SMAW, utilizando los mismos parámetros previamente analizados, en el cual el esfuerzo córtate es el mismo debido al que se utiliza el mismo electrodo.

2.12.1. Esfuerzo Normal

Este valor se obtiene de la Ecuación 19, tomando en cuenta que el espesor del perfil es de 4,4 [mm] (Anexo 5), por lo tanto, el espesor de la garganta es de 3 [mm].

$$\sigma_N = \frac{Ra}{h \cdot l} \quad (19)$$

$$\sigma_N = \frac{2250 [kgf]}{0,6 [cm] \cdot 12 [cm]}$$

$$\sigma_N = 312,5 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right] = 30,625 [Mpa]$$

$$\sigma_N \leq 0.6 \cdot Sut$$

$$30,625 [Mpa] \leq 0.6 \cdot 345 [Mpa]$$

$$30,625 [Mpa] \leq 207 [Mpa]$$

2.13. Cálculo de pernos

2.13.1. Diámetro Nominal

El diámetro nominal del perno para la sujeción del cilindro del almacenamiento del ensilaje se obtiene mediante la Ecuación 22.

$$d_{pr} = \sqrt{0,7 \cdot e_s} - 0,2 \quad (22)$$

$$d_{pr} = \sqrt{0,7 \cdot 1,8 [cm]} - 0,2$$

$$d_{pr} = 0,92 [cm] = 0,36 [pulg]$$

Con el valor del diámetro nominal seleccionamos del Anexo 11, un perno que con un diámetro superior al calculado. Obteniendo un perno hexagonal con un código PA038075 que detalla sus características en el anexo mencionado.

A continuación, se determina el área de la sección entre el perno y la plancha de acero.

$$A_s = \frac{\pi \cdot d_{pr}^2}{4} \quad (23)$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot 2,036 [cm]^2}{4}$$

$$A_s = 3,26 [cm^2] = 326 [mm^2]$$

2.13.2. Fuerza máxima resistente al corte

El cálculo de esta fuerza depende estrictamente del material del perno, para esto se selecciona de la Tabla 16, la resistencia última a la tracción considerando un perno de grado 8,8.

$$F_{mv} = \frac{0,6 \cdot Sup \cdot A_s}{n_p} \quad (24)$$

$$F_{mv} = \frac{0,6 \cdot 800 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \cdot 326 [mm^2]}{1,5}$$

$$F_{mv} = 104,320 [kN] = 10637,68 [kgf]$$

2.13.3. Número de pernos

El número de tornillos necesarios para soportar el cilindro de almacenamiento se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N_{pr} = \frac{F_{mv}}{Ra \cdot n_p} \quad (25)$$

$$N_{pr} = \frac{10637,68 [kgf]}{2500 [kgf] \cdot 1.5}$$

$$N_{pr} = 2,83 \approx \mathbf{3 \text{ Pernos}}$$

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE COSTOS Y EXPERIMENTACIÓN

3. Generalidades

En el presente capítulo se realizará el desarrollo de los costos analizados mediante la elaboración de un registro de todos los elementos y mecanismos utilizados para el diseño y construcción de la máquina, evaluando su costo en el mercado para luego analizar y calcular un valor que genere una utilidad en función al costo de operación realizada. Se generará también un análisis experimental para determinar y comprobar el buen funcionamiento de la máquina con el compactado del rastrojo para su previa ubicación en el silo, asegurando su eficacia.

3.1. Análisis experimental de la compactadora

Para el análisis experimental se plantea la comprobación del correcto funcionamiento del equipo y obtención del producto compactado según el cálculo del volumen y las dimensiones del bloque.

En primer lugar, se realizó la cosecha del rastrojo para su previo secado y picado, tomándose en cuenta que el picado debe ser máximo de hasta 20 mm, para un correcto compactado del ensilaje.

Se realizó el procedimiento iniciando con el llenado del tambor hasta el tope, cumpliendo así los 25 kg por bloque como se propuso en el tema, habiéndose ya ingresado la funda dentro del tambor para al término del compactado cerrar y guardar.

Se compactó con el tornillo trapezoidal sin extenderse obteniéndose así diferentes desplazamientos aplicando la carga del gato hidráulico, verificando así la longitud que se expande el ensilaje después de la compactación, es por esto que se debe realizar una segunda compactación, pero con el tornillo trapezoidal extendido para obtener las dimensiones del volumen previamente calculado y nuevamente registrar la expansión del ensilaje.

A continuación, se analizará cuanto se comprimió el ensilaje en las 3 pruebas con diferentes cargas aplicadas.

3.1.1. Prueba 1

Para esta prueba se utilizó un ensilaje con un picado de partículas gruesas (30 mm) en el que se midió y se registró la diferencia de longitudes después de cada compactación aplicando la fuerza del gato hidráulico y sin la carga del mismo.

Tabla 19. Variación de longitud al compactar el ensilaje de 30 mm

Compactación	Longitudes (mm)		
	Con carga aplicada	Sin carga aplicada	Δx
Sin tornillo extendido	125	60	65
Con tornillo extendido	210	160	50

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

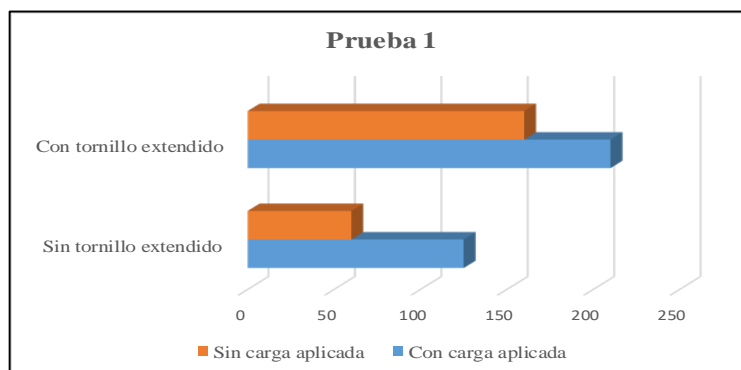


Figura 45. Diagrama de compactada prueba 1

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

3.1.2. Prueba 2

Para esta prueba se utilizó un ensilaje con un picado de partículas medias (20 mm) en el que se midió y se registró la diferencia de longitudes después de cada compactación aplicando la fuerza del gato hidráulico y sin la carga del mismo.

Tabla 20. Variación de longitud al compactar el ensilaje de 20 mm

Compactación	Longitudes (mm)		
	Con carga aplicada	Sin carga aplicada	Δx
Sin tornillo extendido	140	120	20
Con tornillo extendido	250	230	20

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

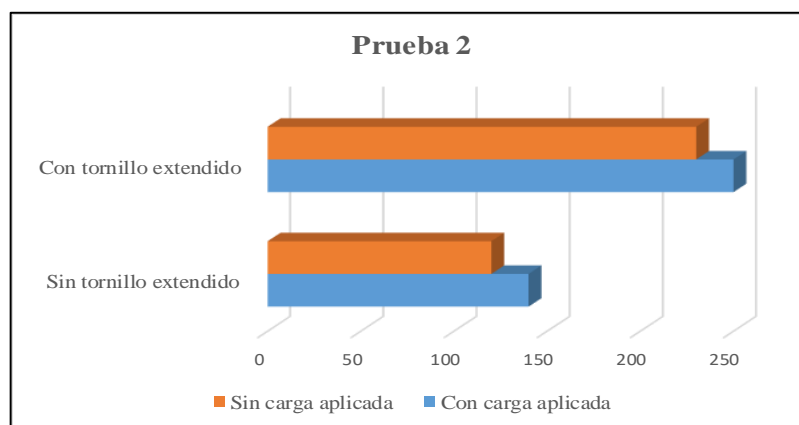


Figura 46. Diagrama de compactada prueba 2
Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

3.1.3. Prueba 3

Para esta prueba se utilizó un ensilaje con un picado de partículas gruesas (25 mm) en el que se midió y se registró la diferencia de longitudes después de cada compactación aplicando la fuerza del gato hidráulico y sin la carga del mismo.

Tabla 21. Variación de longitud al compactar el ensilaje de 25 mm

Compactación	Longitudes (mm)		
	Con carga aplicada	Sin carga aplicada	Δx
Sin tornillo extendido	200	160	40
Con tornillo extendido	240	205	35

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

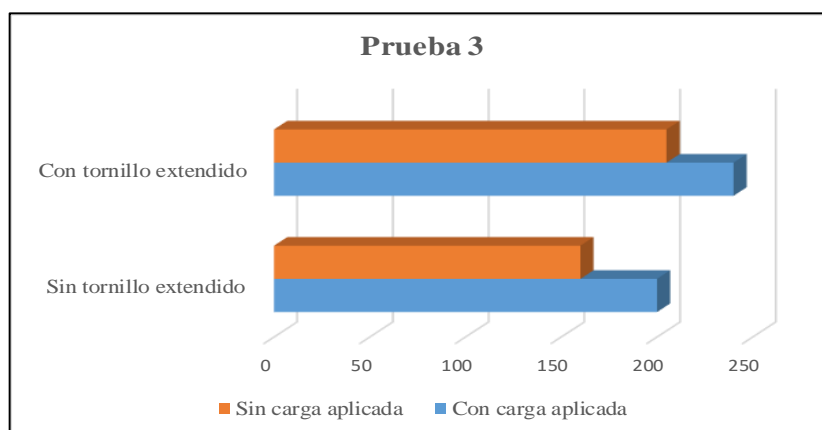


Figura 47. Diagrama de compactada prueba 3
Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

3.1.4. Resultados del análisis experimental

- Para la prueba 1, donde el tamaño de las partículas de ensilaje es grueso (30 mm), se compacto el material a un 37 % del volumen inicial.
- Para la prueba 2, donde el tamaño de las partículas de ensilaje es medio (20 mm), se compacto el material a un 52 % del volumen inicial.
- Para la prueba 3, donde el tamaño de las partículas de ensilaje es medio (25 mm), se compacto el material a un 46,47 % % del volumen inicial.
- La diferencia entre todas las pruebas se analiza a través de la expansión del ensilaje después de la compactación considerando sus desplazamientos (Δx). Al analizar este parámetro la prueba número 2 fue la mejor, en la que se expandió 2 mm el ensilaje lo cual garantiza que se eliminó la mayor cantidad de oxígeno entre las capas, generando una reducción del 52 % del volumen inicial y se necesitó una fuerza menor por lo tanto es óptima la compactación.

3.2. Costos

3.2.1. Costos por máquinas y equipos utilizados

Los costos por maquinaria y equipos utilizados se detallan a continuación con el tiempo de cada equipo.

Tabla 22. Costos de máquinas y equipos utilizados

Máquina/Herramienta	Costo/Hora (USD)	Horas Empleadas	Costo (USD)
Torno	12.00	11	132
Taladro	8.00	7.5	56
Soldadora	10.00	3	30
Amoladora/pulidora	5.00	3	15.00
Compresor	7.00	2	14.00
Herramienta manual	5.00	6	30.00
Total			277.00

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

3.2.2. Costos directos

Se conoce como costos directos a la materia prima y accesorios normalizados.

Tabla 23. Descripción de costos de materiales directos

Ítem	Descripción	Cant.	Dimensiones	Costo Unitario	Total (USD)
1	Eje compactador	1	Ø 1’’x 32	30.00	30.00
2	Perfil IPE	1	120x64.5x6m	80.00	60.00
3	Plancha compactadora	1	Ø 290 x 4	20.00	20.00
4	Ángulo estructural L	1	5’’x1/4’’	5.00	5.00
5	Tubo rectangular	1	50x50x3	15.00	15.00
6	Rodamiento axial	1	N/A	20.00	10.00
7	Rodamiento radial	1	N/A	15.00	15.00
8	Pernos Inox	13	3/8’’x3/4’’	0.60	7.80
9	Pernos Inox	14	1/4’’x1’’	0.40	5.60
10	Rodamientos guías compactado	2	N/A	5.00	5.00
11	Tornillo trapezoidal	1	25.4x200	80.00	80.00
12	Tuerca tornillo trapezoidal	1	25.4x50	40.00	30.00
13	Resortes	2	25.4x380	18.00	36.00
14	Rodamientos guías	2	Ø 20x10	5.00	10.00
15	Pintura anticorrosiva	1	Litro	10.00	6.00
16	Pintura acabado sintético automotriz	1	Litro	15.00	15.00
17	Electrodo E6011	1	Lb	2.20	2.20
Total					352,60

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

3.2.3. Costos de mano de obra

Los costos de mano de obra se detallan a continuación.

Tabla 24. Costo de mano de obra

Trabajador	Salario/Hora	Horas Empleadas	Costo (USD)
Técnico mecánico	3.50	20	70.00
Técnico soldador	3.00	3	9.00
Técnico tornero	3.00	11	33.00
Ayudante	2.50	20	50.00
Total			162.00

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

3.2.4. Costos directos totales

Los costos directos totales se expresan a continuación:

Tabla 25. Costos directos totales

Descripción	Total (USD)
Costo total de materiales	352.60
Costo mano de obra	162.00
Costo por maquinaria y equipos utilizados	277.00
Total costos directos	791.60

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

3.2.5. Costos indirectos

Tabla 26. Costos indirectos

Descripción	Porcentajes Directos (%)	Valor (USD)
Costo ingeniería	30	237.48
Imprevistos/Varios	10	79.16
Total Costos Indirectos		316.64

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

3.2.6. Costo total de la máquina compactadora de ensilaje

El costo total del diseño y construcción de la compactadora de maíz se determina sumando los costos directos más los costos indirectos, como se observa en la Tabla 27,

Tabla 27. Costo total de la maquinaria

Descripción	Valor (USD)
Costos Directos	791.60
Costos indirectos	316.64
Total	1108.24

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

3.3. Proyección de ahorro anual

Este análisis está basado en la producción anual del maíz en la provincia de Cotopaxi. Según el último registro elaborado por el (INEC), en la provincia de Cotopaxi registró una producción de 1.576 toneladas de maíz en la provincia d los cuales el 1,75% proviene de la parroquia San José de Poaló equivalentes a 27,58 toneladas anuales. De este valor queda aproximadamente 18,5 toneladas de rastrojo listo para ser compactado. Cabe recalcar que la cosecha del maíz se realiza 1 vez al año.

Tabla 28. Proyección de ahorro anual.

Año	Producción anual por bolsas de 25 [kg]	Costo unitario de la bolsa de 25 [kg]	Ahorro anual
1	720	\$ 1,53	\$ 1101,60
2	738	\$ 1,68	\$ 1239,84
3	757	\$ 1,85	\$ 1400,45

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

Este proyecto no se enfoca en la comercialización del ensilaje, es por esto que no se puede reflejar un ingreso anual por la venta del mismo, pero se lo analiza bajo otro aspecto, como un ahorro ya que esto permite mantener reservas de alimento para el ganado en épocas de sequía generando así un ahorro de \$ 1,53 centavos por cada bolsa de 25 kg que se elabore. Para esto se proyecta un ahorro anual en 3 primeros años con un incremento del 2.5 % en la producción como se muestra en la Tabla 28.

3.4. Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto es una guía financiera que permite evaluar la rentabilidad de un proyecto en valores monetarios después de calcular los ingresos y egresos futuros verificando la viabilidad del proyecto [51].

Tabla 29. Criterios para el valor actual neto (VAN).

Criterio	Descripción
$VAN > 0$	El proyecto invertido, genera beneficios
$VAN = 0$	el proyecto invertido, no genera beneficios ni tampoco pérdidas
$VAN < 0$	el proyecto invertido, genera pérdidas

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

Para el cálculo del VAN se emplea la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_i + \sum_{t=1}^n \frac{V_F}{(1-R)^t} \quad (36)$$

Donde:

I_i : Inversión Inicial

V_F : Flujo de ingresos del proyecto

R : Tasa de descuento

t : Tiempo

$$VAN = -1108,24 + \frac{1101,60}{(1-0,06)^1} + \frac{1239,84}{(1-0,06)^2} + \frac{1400,45}{(1-0,06)^3}$$

$$VAN = 3152,95$$

3.5. Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de descuento que provoca que el valor actual neto sea cero por lo tanto la suma de los flujos del proyecto es igual a la inversión inicial. Como se muestra en la Ecuación 41.

$$VAN = -I_i + \sum_{t=1}^n \frac{V_F}{(1-R)^n} = 0 \quad (41)$$

$$-1108,24(1 - R)^3 + 1101,60(1 - R)^2 + 1239,84(1 - R)^1 + 1400,45 = 0$$

$$R = 0,61 = 61 \%$$

3.6. Índice de Rentabilidad

Mide el valor actual neto por cada dólar invertido en el proyecto a través de la ecuación 42. Se acepta si el índice de rentabilidad es mayor a 1.

$$IR = 1 + \frac{VAN}{I_i} \quad (42)$$

$$IR = 1 + \frac{3152,95}{1108,24}$$

$$IR = 3,84$$

3.7. Retorno de la inversión

El tiempo de retorno de la inversión se obtiene con la relación entre el costo de la inversión sobre el ingreso generado como se indica en la ecuación:

$$R_i = \frac{Ci}{Ig} \quad (43)$$

$$R_i = \frac{1108,24}{1101,60} = 1 \text{ año } 1 \text{ mes}$$

El costo total de la máquina se cubrirá en el primer año después de esto todo lo que se genere serán ganancias para la comunidad.

3.8. Análisis económico de la producción de maíz con la máquina diseñada

Debido a un gran desconocimiento del proceso del ensilaje de maíz en la parroquia San José de Poaló, las personas no realizan este proceso para la conservación del producto, solo dos familias de toda la parroquia lo elaboran las cuales generan anualmente 2400 [kg/año] un promedio de \$ 146,88. Mientras que con la implementación de la máquina se conservan 18000 [kg/año] con un valor de \$ 1101,60. Esto quiere decir que aumenta la producción en un 87 % el cual representa un valor muy significativo para la comunidad adicionalmente el producto obtendrá mejores características alimenticias para el ganado.

CONCLUSIONES

- Al conocer la actual situación en el proceso de ensilaje de la máquina el cual, visualizándolo en porcentajes, un 5% desde el campo manual, al realizar el diseño se logró mejorar el actual proceso en un 85 %.
- Con el análisis de alternativas se tomó en cuenta varios aspectos; con la alternativa 1 tiene una eficiencia al 90 % pero al utilizar un cilindro émbolo que posee presiones grandes a comparación de la obtenida se descartó en un 75%, la alternativa 2 al utilizar el principio de palanca no generaba la fuerza adecuada y el compactado no llegaba al volumen obtenido por cálculos volviéndose una máquina con un 40% de eficiencia y la alternativa 3 que posee un tornillo sin fin es eficiente en un 80% pero los costos de producción eran excesivos por lo cual se descartó, con lo que se realizó un diseño basado en la alternativa 1, cambiando el cilindro embolo por un gato hidráulico tipo botella con la fuerza necesaria sin sobredimensionar a la máquina.
- Conociendo el volumen final, se pudo realizar un diseño del recipiente recolector de las dimensiones necesarias para contener los 25 kg y el volumen final, obteniendo así un rastrojo 100% compactado sin riesgo de que el recipiente se deforme, o por la fuerza de compactado el ensilaje arroje líquidos.
- En las diferentes pruebas realizadas se obtuvo los siguientes porcentajes de compactado, prueba 1: 37 %, prueba 2: 52 % y prueba 3: 47%, concluyendo que lo que influye en el compactado es el tamaño del picado, mientras más pequeño es, se requiere una fuerza menor y el compactado será el ideal
- Al construir la máquina se tuvo como prioridad mejorar la forma de conservar artesanal que se venía practicando, lo cual generaba perdidas por humedad ya que estaban expuestos a diferentes agentes externos que dañaban el rastrojo, por lo cual el compactado y sellado de la máquina garantiza su conservación disminuyendo así perdidas en un 85 % para el ensilaje final.

RECOMENDACIONES

- Para efectuar el diseño correcto de la máquina se debe conocer las necesidades principales de la comunidad, para obtener el mecanismo ideal de operatividad.
- No exceder en el llenado total del tambor, ya que al hacerlo el proceso se puede extender, así como el correcto compactado.
- La limpieza de la máquina compactadora se la debe realizar cuando la misma no se encuentre cargada, retirando producto regado o expulsado en el llenado del tambor.
- Se recomienda que el picado del rastrojo no exceda los 200 mm ya que eso generaría mayor esfuerzo por parte del operario.
- Se recomienda diseñar un sistema hidráulico tipo cilindro embolo con la fuerza necesaria para el compactado del rastrojo, creando así una máquina semiautomática, disminuyendo la manipulación de la misma a un solo actuador.
- Para el sistema de sellado se recomienda diseñar un sistema de vacío, para las dimensiones de la máquina, así se garantiza la conservación del ensilaje en un 98 % y se optimiza espacio ya que, al retirar todas las cámaras de aire existente, se disminuye el espacio e incluso se compactaría más material.

REFERENCIAS

- [1] P. Santana, «laagriculturaylaganaderia,» blogspot, 26 02 2016. [En línea]. Available: http://laagriculturaylaganaderia.blogspot.com/2016_02_26_archive.html. [Último acceso: 02 10 2018].
- [2] F. Navarro, La Enciclopedia, España: Salvat, 2004.
- [3] DSBosch, «slideshare,» 11 0 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/DSBosch/glosario-de-cereales>. [Último acceso: 02 10 2018].
- [4] R. Bárcena y F. Mendoza, «DIGESTIBILIDAD in situ DE DIETAS CON RASTROJO DE MAÍZO PAJA DE AVENA CON ENZIMAS FIBROLÍTICAS,» *Agrociencia*, vol. 38, n° 1, 2004.
- [5] J. D. F. Sandoval, «Tusa del maíz: una fuente de energía renovable,» *Universitas Científica*, vol. 16, n° 2, pp. 62-65, 2013.
- [6] MAGA, «sipa,» 26 03 2019. [En línea]. Available: http://sipa.agricultura.gob.ec/images/agroclics/2019/marzo/26_marzo.jpg. [Último acceso: 10 06 2019].
- [7] E. Universo, «El Universo,» 10 04 2019. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/04/10/nota/7277396/ganaderos-mas-consumo-leche>. [Último acceso: 10 06 2019].
- [8] J. LAFAURIE, Alternativas para enfrentar una sequía prolongada en la ganadería colombiana., Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-Corpoica-Fedegan., 2006.
- [9] J. L. Morillo y J. Villacis, «Maíz suave choclo,» Ministerio de Agricultura, ganadería y pesca, Quito, 2013.
- [10] J. Morillo, «Producción de maíz,» *ESPAC*, vol. 1, n° 4, pp. 1-80, 2012.
- [11] M. Garcés, L. Berrio, R. Alzate y G. Sena, «Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado,» *LASSALISTA DE INVESTIGACIÓN*, vol. 1, n° 1, pp. 1-6, 2014.
- [12] R. Filippi, Conceptos básicos en la elaboración de ensilajes, Chile: UDF, 2011.
- [13] M. Wattiaux, «Introducción al proceso de ensilaje,» *Instituto Babcock*, vol. 2, n° 1, pp. 1-16, 2014.

- [14] J. Sosa, I. Cortes y P. Cabrera, Alternativas nutricionales para época seca, República dominicana: IDIAF, 2014.
- [15] L. Mannetje, Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones, Roma: FOA, 2001.
- [16] B. Wagner, V. Asencio y J. Caridad, «Como prepara un buen ensilaje,» *Conservacion de Forrajes*, vol. 2, nº 1, pp. 1-16, 2014.
- [17] D. Valerio y M. Atilas, «SILO DE ANILLO PARA CONSERVACIÓN,» *IDIAF*, vol. 1, nº 4, pp. 1-20, 2016.
- [18] R. Demanet, «Tiempo entre sellado y apertura,» *Ensilaje de maíz*, vol. 1, nº 2, pp. 1-2, 2017.
- [19] J. Bustamante, «EL CULTIVO DEL MAÍZ PARA ENSILAR,» *CCEA*, vol. 1, nº 19, pp. 1-4, 2014.
- [20] R. Eraso, «Picado y ensilado,» *Maíz silo*, vol. 1, nº 4, pp. 1-19, 2014.
- [21] F. Sánchez, «Invento Agro,» Silo, 4 12 2010. [En línea]. Available: <http://www.invento.com.co/index.html>. [Último acceso: 29 11 2018].
- [22] J. Jimenez, « Practiagro,» Equipos Prácticos Agropecuarios, 3 12 2007. [En línea]. Available: <https://www.practiagro.com/>. [Último acceso: 2018 11 29].
- [23] A. Arciniegas, «IDEOAGRO,» Ideagro S.A.S, 23 2 2015. [En línea]. Available: <https://www.ideagro.com/>. [Último acceso: 2018 11 30].
- [24] A. Jardón , S. Marini y A. Olivia, Hidrostática, Hidrodinámica, Rosario.
- [25] D. Espinosa, Resistencia de materiales mecánicos, Quito: EPN-ESFOT, 2004.
- [26] J. McCormac, Análisis de estructuras-métodos clásico y matricial, Alfaomega, 2016.
- [27] J. McCormac y S. Csernak, Diseño de estructuras de acero, México: Alfaomega, 2013.
- [28] J. C. McCormac, Diseño de estructuras de acero, México D.F: Alfaomega, 2012.
- [29] S. Timoshenko , J. Gere y F. Bocanegra, Mecánica de materiales, Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana., 1976.
- [30] F. Beer, E. Johnston, E. Russell y J. Dewolf, Mecánica de materiales, McGraw-Hill, 1988.

- [31] J. Vilorio, Prontuario de mecánica industrial aplicada, Madrid: Thomson , 2010.
- [32] O. Berrocal, Resistencia de Materiales, México: McGraw-Hill, 2010.
- [33] M. Tulio, «Mecánica de resortes y Elásticos,» *Proyecto de elementos accesorios elásticos*, vol. 6, n° 4, pp. 1-18, 2014.
- [34] J. D. Barros Enríquez, REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA BAROLADORA DE 4 MM A UNA MÁQUINA BAROLADORA SEMI-AUTOMÁTICA DE 6MM PARA LA MECÁNICA INDUSTRIAL ANGEL MARÍA LUNA C.A, Quito: EPN, 2013.
- [35] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: McGraw-Hill, 2008.
- [36] S. Timoshenko, Resistencia de materiales, Madrid: ESPASA, 1957.
- [37] M. Piovan, Proyecto de elementos de sujeción, anclaje y cierre, México: UTN, 2014.
- [38] R. Juvinall, Fundamentos de diseño para ingeniería mecánica, México: Limusa, 1996.
- [39] L. Straneo y R. Consorti, Dibujo técnico mecánico, México: UTEHA, 1965.
- [40] Rodríguez, «Ingemecánica,» 22 04 2010. [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com>. [Último acceso: 2019 03 14].
- [41] H. Rothbart, Mechanical Design and Systems Handbook, Nueva York: McGraw-hill, 1985.
- [42] R. Norton, Diseño de Máquinas un enfoque integrado, México: Perason, 2011.
- [43] K. Dunn, «Lincoln Electric S,» *Soldeo manual con electrodos revestidos*, vol. 124, n° 16, pp. 3-28, 2010.
- [44] M. Herrera, J. Medina y H. Quintero, «Diseño de máquina para empaque de forraje de maíz para ensilaje dosificado y compactado,» *Scientia et Technica*, vol. 1, n° 40, pp. 1-6, 2008.
- [45] M. J. Herrera, J. Medina y H. F. Quintero, «Diseño de máquina para empaque de forraje de maíz para ensilaje: dosificado y compactado.,» *Scientia et technica*, vol. 3, n° 40, 2009.
- [46] V. BADIOLA, «DPTO. INGENIERÍA MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES,» 2004. [En línea]. Available:

http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/assignaturas/DyCDM/DyCDM_Cap6.pdf. [Último acceso: 07 05 2019].

- [47] H. Rubio Alonso, «Rodamientos,» [En línea]. Available: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/diseño-mecánico-1/material_clase/ocw_rodamientos3. [Último acceso: 07 05 2019].
- [48] R. I. Criollo Fernández, T. Sambache y D. Javier, Diseño y construcción de una prensa electrohidráulica de 20 toneladas para la empresa Acepromet Cia. Ltda, 2018.
- [49] V. Badiola, Diseño de máquinas, México: Navarrens, 2004.
- [50] «Sistemas Hidráulicos y Neumáticos,» [En línea]. Available: <http://cursos.aiu.edu/Sistemas%20Hidraulicas%20y%20Neumaticos/PDF/Tema%201.pdf>. [Último acceso: 12 06 2019].
- [51] S. Robbins y M. Coulter, Administración, México: PEARSON, 2014.
- [52] M. Fraguío, «Infocampo,» 05 12 2014. [En línea]. Available: <http://www.infocampo.com.ar/aplicaciones-del-maiz-en-la-industria-alimentaria/>. [Último acceso: 30 09 2018].
- [53] M. Titterton, «Desarrollo de técnicas de ensilado para pequeños ganaderos en Zimbabwe,» 12 Febrero 2007. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/DOCREP/005/X8486S/X84>. [Último acceso: 30 9 2018].
- [54] J. Villacis, «Maíz Suave Choclo,» *Boletín Situacional*, vol. 4, pp. 1-5, 2013.
- [55] T. Pozo, «Maíz suave choclo,» *Boletín Situacional*, vol. 1, nº 6, pp. 1-7, 2014.
- [56] J. Vanegas, «Guía tecnológica del cultivo del maíz,» *INTA*, vol. 2, nº 3, pp. 1-36, 2010.
- [57] C. Rojas, Evaluación de Ensilaje de Cebada en Tres Estados de Corte en la Engorda Invernal de Novillos, Madrid: Agricultura Técnica, 2000.
- [58] M. J. H. C. J. M. & R. H. F. Q. López, «Diseño de una máquina para el empaque de forraje de maíz para ensilaje: dosificación y compactación.,» *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, vol. 61, nº 2, pp. 4676-4685, 2008.
- [59] H. Schlegel, General Microbiology, México: Cambridge, 1987.
- [60] A. Randby, Effect of ethanol in feed on milk flavour and chemical composition, México: 1999, 1999.

- [61] P. Ortega, «Fatiga,» *Mecanismos y elemetos de máquinas*, vol. 1, nº 1, pp. 1-23, 2010.
- [62] A. Valles, «El ensilado y sus ventajas,» *Hojas Divulgadoras*, vol. 2, nº 77, pp. 1-16, 2014.
- [63] H. Rodríguez, «Tornillos de Potencia,» *Ingemecánica*, vol. 4, nº 20, pp. 1-15, 2016.
- [64] E. Blanco y J. Bacca, «Prototipo de máquina para fabricar ensilaje utilizando un tornillo sin fin,» *Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, vol. 1, nº 29, pp. 1-6, 2016.
- [65] C. Graig, «Conveyor Engineering & Manufacturing Launches New Manual for Screw,» PRWeb, 25 03 2014. [En línea]. Available: <https://www.prweb.com>. [Último acceso: 02 14 2019].




ANEXOS

ANEXO 1: Manual de operatividad

La máquina posee dos etapas de funcionamiento, siendo la primera el eje de compactación seguida del tambor recolector siendo estos los más importantes.

Para la operación de la máquina se necesita de un solo operario, por lo general se encuentra un auxiliar que realiza el llenado del tambor para cada carga.

Para proceder a una buena operación de la máquina se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones.

Número	Tarea	Ilustración
1.	Revisar los elementos normalizados empleados en la máquina y supervisar que se encuentren debidamente ajustados.	
2.	Examinar que el templado de los resortes sea el adecuado.	
3.	Inspeccionar el botón responsable del aceite en la gata.	

-
4. Ingresar la bolsa de basura dentro del tambor, previamente deslizado por los rodillos para poder maniobrar con facilidad.



5. Llenar el tambor recolector hasta el tope, tomando en cuenta que el llenado es por el peso propuesto para el diseño.



6. Reingresar el tambor.



7. Con ayuda de la gata bajar el eje compactador hasta la elongación máxima de la gata.



8. Regresar la gata.



9.

Extender el tornillo trapezoidal al máximo y bajar por segunda vez la gata hasta que la mismo alcance su elongación máxima.

10.

Por ultimo volver a repetir el proceso con el tornillo extendido por última vez.

11.

Retirar el tambor deslizándolo por los rodillos.

12.

Abrir la compuerta del tambor.

13

Extraer el producto compactado y cerrarlo para su futuro almacenamiento.



ANEXO 2: Manual de mantenimiento

Para evitar futuros daños o averías en la máquina, es necesario realizar la supervisión periódica de la máquina, esto es posible aplicando el mantenimiento preventivo o correctivo según sea el caso. Las principales actividades a realizarse para perdurar la vida útil de la máquina son:

- Limpieza de los rodillos

Se recomienda limpiar a diario los rodillos, ya que, si estos se encuentran sucios por los picados del maíz evitan que el tambor gire, generando más esfuerzos al momento de mover el tambor recolector



- Limpieza del tambor

Al ser el tambor la parte de la máquina que más expuesta está a suciedades, se debe mantener limpia, para evitar esfuerzos en sus accesorios como: las bisagras y la llave de la compuerta.



- Lubricación de elementos

Se recomienda la lubricación una vez por semana del tornillo y tuerca trapezoidal para evitar esfuerzos innecesarios, tomando en cuenta que la máquina posee vida infinita.



- Ajuste de elementos

Debido a que la máquina es desmontable en su mayoría, y al estar en constante movimiento giratorio, produce en la máquina los pernos lleguen a desajustarse, por lo que se recomienda que se verifique el apriete de los elementos al menos una vez por mes.



- Revisar aceite en elementos

Al utilizar el gato hidráulico es recomendable revisar el aceite del elemento de forma semestral, y al poseer rodamientos tener cuidado con la lubricación de los mismos, y la debida limpieza.



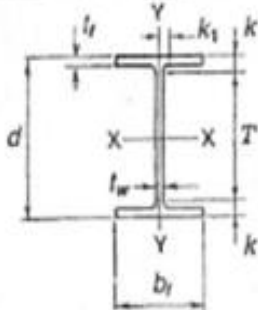
Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

ANEXO 3: Checklist

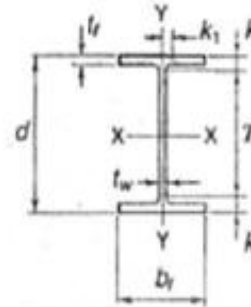
HOJA DE ACTIVIDADES					
	Diario	Semanal	Mensual	Anual	Observaciones
Limpieza de rodillos					
Revisar basura en los soportes de rodillos	X				
Limpieza de tambor					
Limpiar el tambor antes de ser utilizado y después de ser utilizado	X				
Lubricación de elementos					
Lubricación de tornillos		X			
Lubricación de tuerca y tornillo compactador		X			
Ajuste de elementos					
Revisar ajuste de pernos en general			X		Táctil y usar herramienta manual
Revisar ajuste de perno de resortes		X			Táctil y usar herramienta manual
Revisión de aceite					
Revisa aceite de la gata				X	

Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

ANEXO 4: Manual del acero de construcción para perfiles W

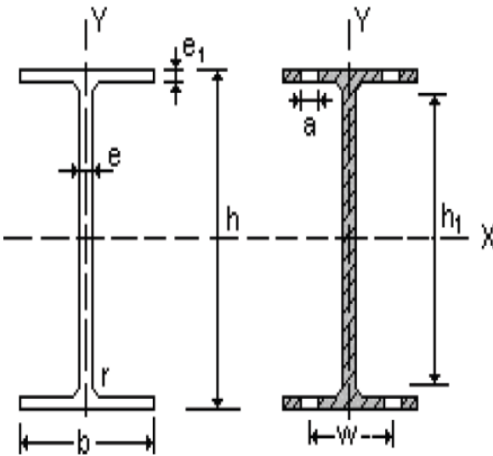
<div>  <div>W SHAPES Dimensions</div> </div>													
Designation	Area A	Depth d		Web			Flange				Distance		
				Thickness		$\frac{t_w}{2}$	Width		Thickness		T	k	k ₁
				t_w			b_f		t_f				
	In. ²	In.		In.		In.	In.		In.		In.	In.	In.
W 8×67	19.7	9.00	9	0.570	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	8.280	8 $\frac{1}{4}$	0.935	$\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$
x58	17.1	8.75	8 $\frac{1}{4}$	0.510	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	8.220	8 $\frac{1}{4}$	0.810	$\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
x48	14.1	8.50	8 $\frac{1}{2}$	0.400	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$	8.110	8 $\frac{1}{4}$	0.685	$\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
x40	11.7	8.25	8 $\frac{1}{4}$	0.360	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$	8.070	8 $\frac{1}{4}$	0.560	$\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
x35	10.3	8.12	8 $\frac{1}{4}$	0.310	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$	8.020	8	0.495	$\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	1	$\frac{3}{8}$
x31	9.13	8.00	8	0.285	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$	7.905	8	0.435	$\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
W 8×28	8.25	8.06	8	0.285	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$	6.535	6 $\frac{1}{2}$	0.465	$\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
x24	7.08	7.93	7 $\frac{1}{2}$	0.245	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	6.495	6 $\frac{1}{2}$	0.400	$\frac{3}{8}$	6 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$
W 8×21	6.16	8.28	8 $\frac{1}{4}$	0.250	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	5.270	5 $\frac{1}{4}$	0.400	$\frac{3}{8}$	6 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$
x18	5.26	8.14	8 $\frac{1}{4}$	0.230	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	5.250	5 $\frac{1}{4}$	0.330	$\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
W 8×15	4.44	8.11	8 $\frac{1}{4}$	0.245	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	4.015	4	0.315	$\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$
x13	3.84	7.99	8	0.230	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	4.000	4	0.255	$\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
x10	2.96	7.89	7 $\frac{1}{2}$	0.170	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{8}$	3.940	4	0.205	$\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
W 6×25	7.34	6.38	6 $\frac{1}{2}$	0.320	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$	6.080	6 $\frac{1}{2}$	0.455	$\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
x20	5.87	6.20	6 $\frac{1}{4}$	0.260	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	6.020	6	0.385	$\frac{3}{8}$	4 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$
x15	4.43	5.99	6	0.230	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	5.990	6	0.260	$\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
W 6×16	4.74	6.25	6 $\frac{1}{4}$	0.260	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	4.030	4	0.405	$\frac{3}{8}$	4 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
x12	3.55	6.03	6	0.230	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	4.000	4	0.280	$\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
x 9	2.68	5.90	5 $\frac{1}{2}$	0.170	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{8}$	3.940	4	0.215	$\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
W 5×19	5.54	5.15	5 $\frac{1}{2}$	0.270	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	5.030	5	0.430	$\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
x16	4.68	5.01	5	0.240	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	5.000	5	0.360	$\frac{3}{8}$	3 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
W 4×13	3.83	4.16	4 $\frac{1}{4}$	0.280	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	4.060	4	0.345	$\frac{3}{8}$	2 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$

W SHAPES Properties



Nom- inal Wt. per Ft	Compact Section Criteria				r_T	$\frac{d}{A_y}$	Elastic Properties						Plastic Modulus	
	$\frac{b_f}{2t_f}$	F_y'	$\frac{d}{t_w}$	F_y''			Axis X-X			Axis Y-Y			Z_x	Z_y
							I	S	r	I	S	r		
							Lb.		Ksi		Ksi	In.	In. ⁴	In. ³
67	4.4	—	15.8	—	2.28	1.16	272	60.4	3.72	88.6	21.4	2.12	70.2	32.7
58	5.1	—	17.2	—	2.26	1.31	228	52.0	3.65	75.1	18.3	2.10	59.8	27.9
48	5.9	—	21.3	—	2.23	1.53	184	43.3	3.61	60.9	15.0	2.08	49.0	22.9
40	7.2	—	22.9	—	2.21	1.83	146	35.5	3.53	49.1	12.2	2.04	39.8	18.5
35	8.1	64.4	26.2	—	2.20	2.05	127	31.2	3.51	42.6	10.6	2.03	34.7	16.1
31	9.2	50.0	28.1	—	2.18	2.30	110	27.5	3.47	37.1	9.27	2.02	30.4	14.1
28	7.0	—	28.3	—	1.77	2.65	90.0	24.3	3.45	21.7	6.63	1.62	27.2	10.1
24	8.1	64.1	32.4	63.0	1.76	3.05	82.8	20.9	3.42	18.3	5.63	1.61	23.2	8.57
21	6.6	—	33.1	60.2	1.41	3.93	75.3	18.2	3.49	9.77	3.71	1.26	20.4	5.69
18	8.0	—	35.4	52.7	1.39	4.70	61.9	15.2	3.43	7.97	3.04	1.23	17.0	4.66
15	6.4	—	33.1	60.3	1.03	6.41	48.0	11.8	3.29	3.41	1.70	0.876	13.6	2.67
13	7.8	—	34.7	54.7	1.01	7.83	39.6	9.91	3.21	2.73	1.37	0.843	11.4	2.15
10	9.6	45.8	46.4	30.7	0.99	9.77	30.8	7.81	3.22	2.09	1.06	0.841	8.87	1.66
25	6.7	—	19.9	—	1.65	2.31	53.4	16.7	2.70	17.1	5.61	1.52	18.9	8.56
20	8.2	62.1	23.3	—	1.64	2.82	41.4	13.4	2.66	13.3	4.41	1.50	14.9	6.72
15	11.5	31.8	26.0	—	1.61	3.85	29.1	9.72	2.56	9.32	3.11	1.46	10.8	4.75
16	5.0	—	24.2	—	1.06	3.85	32.1	10.2	2.60	4.43	2.20	0.966	11.7	3.39
12	7.1	—	26.2	—	1.05	5.38	22.1	7.31	2.49	2.99	1.50	0.918	8.30	2.32
9	9.2	50.3	34.7	54.8	1.03	6.96	16.4	5.58	2.47	2.19	1.11	0.905	6.23	1.72
19	5.8	—	19.1	—	1.38	2.38	26.2	10.2	2.17	9.13	3.63	1.28	11.6	5.53
16	6.9	—	20.9	—	1.37	2.78	21.3	8.51	2.13	7.51	3.00	1.27	9.59	4.57
13	5.9	—	14.9	—	1.10	2.97	11.3	5.46	1.72	3.86	1.90	1.00	6.28	2.92

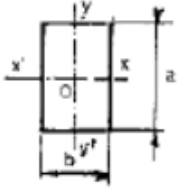
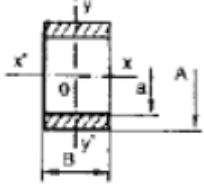
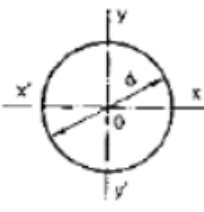
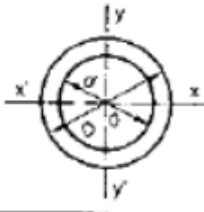
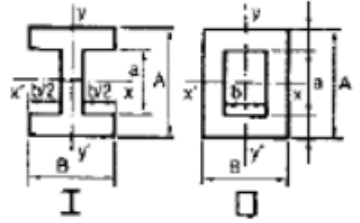
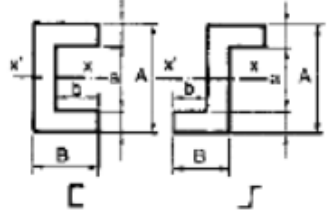
ANEXO 5: Catálogo de perfiles IPE



A = Área de la de la sección
 S_x = Momento estático de media sección, respecto a X. I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X.
 $W_x = 2I_x : h$: h. Módulo resistente de la sección, respecto a X. $i_x = (I_x : A)^{1/2}$. Radio de giro de la sección, respecto a X.
 I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y. $W_y = 2I_y : h_1$. Módulo resistente de la sección, respecto a Y. $i_y = (I_y : A)^{1/2}$. Radio de giro de la sección, respecto a Y.
 I_t = Módulo de torsión de la sección. I_a = Módulo de alabeo de la sección. u = Perímetro de la sección.
a = Diámetro del agujero del roblón normal. w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros. h_1 = Altura de la parte plana del alma.
p = Peso por metro.

Perfil	Dimensiones							Términos de la sección											Agujeros			Peso p kp/m
	h mm	b mm	e mm	a mm 1	r mm	h mm 1	u mm	A cm	S cm3 x	I cm4 x	W x cm3	i cm x	I cm4 y	W y cm3	i cm y	I cm4 t	I cm6 a	W mm	a mm	a mm 2		
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118	-	-	3,8	6,00	
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,3	19,7	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	1,140	351	-	-	4,1	8,10	
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,2	30,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	1,770	890	35	-	4,4	10,4	
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,4	44,2	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	2,630	1981	40	11	4,7	12,9	
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,1	61,9	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	3,640	3959	44	13	5	15,8	
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	698	23,9	83,2	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	5,060	7431	48	13	5,3	18,8	

ANEXO 6: Momento de resistencia de superficies básicas

MOMENTOS DE INERCIA Y RESISTENCIA		
SUPERFICIE	INERCIA	RESISTENTE
	<p>1.</p> <p>a) $I_{xx'} = \frac{ba^3}{12}$</p> <p>b) $I_{yy'} = \frac{ab^3}{12}$</p>	<p>7.</p> <p>a) $W_{xx'} = \frac{ba^2}{6}$</p> <p>b) $W_{yy'} = \frac{ab^2}{6}$</p>
	<p>2.</p> <p>a) $I_{xx'} = \frac{B}{12} (A^3 - a^3)$</p> <p>b) $I_{yy'} = \frac{B^3}{12} (A - a)$</p>	<p>8.</p> <p>a) $W_{xx'} = \frac{B}{6A} (A^3 - a^3)$</p> <p>b) $W_{yy'} = \frac{B^2}{6} (A - a)$</p>
	<p>3.</p> <p>$I_{xx'} = I_{yy'} = \frac{\pi d^4}{64}$</p>	<p>9.</p> <p>$W_{xx'} = W_{yy'} = \frac{\pi d^3}{32}$</p>
	<p>4.</p> <p>$I_{xx'} = I_{yy'} = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64}$</p>	<p>10.</p> <p>$W_{xx'} = W_{yy'} = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D}$</p>
	<p>5.</p> <p>$I_{xx'} = \frac{BA^3 - ba^3}{12}$</p>	<p>11.</p> <p>$W_{xx'} = \frac{BA^3 - ba^3}{6A}$</p>
	<p>6.</p> <p>$I_{xx'} = \frac{BA^3 - ba^3}{12}$</p>	<p>12.</p> <p>$W_{xx'} = \frac{BA^3 - ba^3}{6A}$</p>

ANEXO 7: Manual del acero de construcción para columnas

$\frac{KL}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{KL}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{KL}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{KL}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{KL}{r}$	F_a (ksi)
1	21.58	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.76
2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69
3	21.48	43	18.95	83	15.02	123	9.85	163	5.62
4	21.44	44	18.89	84	14.90	124	9.70	164	5.55
5	21.39	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49
6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42
7	21.30	47	18.61	87	14.56	127	9.26	167	5.35
8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29
9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23
10	21.16	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17
11	21.10	51	18.26	91	14.09	131	8.70	171	5.11
12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05
13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99
14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93
15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88
16	20.83	56	17.81	96	13.48	136	8.07	176	4.82
17	20.78	57	17.71	97	13.35	137	7.96	177	4.77
18	20.72	58	17.62	98	13.23	138	7.84	178	4.71
19	20.66	59	17.53	99	13.10	139	7.73	179	4.66
20	20.60	60	17.43	100	12.98	140	7.62	180	4.61
21	20.54	61	17.33	101	12.85	141	7.51	181	4.56
22	20.48	62	17.24	102	12.72	142	7.41	182	4.51
23	20.41	63	17.14	103	12.59	143	7.30	183	4.46
24	20.35	64	17.04	104	12.47	144	7.20	184	4.41
25	20.28	65	16.94	105	12.33	145	7.10	185	4.36
26	20.22	66	16.84	106	12.20	146	7.01	186	4.32
27	20.15	67	16.74	107	12.07	147	6.91	187	4.27
28	20.08	68	16.64	108	11.94	148	6.82	188	4.23
29	20.01	69	16.53	109	11.81	149	6.73	189	4.18
30	19.94	70	16.43	110	11.67	150	6.64	190	4.14
31	19.87	71	16.33	111	11.54	151	6.55	191	4.09
32	19.80	72	16.22	112	11.40	152	6.46	192	4.05
33	19.73	73	16.12	113	11.26	153	6.38	193	4.01
34	19.65	74	16.01	114	11.13	154	6.30	194	3.97
35	19.58	75	15.90	115	10.99	155	6.22	195	3.93
36	19.50	76	15.79	116	10.85	156	6.14	196	3.89
37	19.42	77	15.69	117	10.71	157	6.06	197	3.85
38	19.35	78	15.58	118	10.57	158	5.99	198	3.81
39	19.27	79	15.47	119	10.43	159	5.91	199	3.77
40	19.19	80	15.36	120	10.28	160	5.83	200	3.73

ANEXO 8: Catálogo de perfiles "L"

ANGULOS "L" DOBLADO


DIPAC®
PRODUCTOS DE ACERO

PERFILES ESTRUCTURALES
ANGULOS "L" DOBLADO
Especificaciones Generales

Norma: INEN 1 623: 2000

Otras calidades: Previa consulta

Largo normal: 6.00 m

Otros largos: Previa consulta

Espesores: Desde 1.5 hasta 12 mm

Acabado: Natural

Otro acabado: Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS		SECCION	EJE X-X = EJE Y-Y				EJE U-U		EJE V-V	
A	B	e	6 metros	1 metro		I	W	X=Y	X=Y	I	I	I	I
mm	mm	mm	Kg	Kg	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm	cm	cm
25	25	2	4.38	0.73	0.93	0.57	0.32	0.78	0.72	0.99	0.47		
25	25	3	6.36	1.06	1.35	0.79	0.44	0.76	0.77	0.98	0.44		
30	30	2	5.34	0.89	1.13	1.00	0.46	0.94	0.84	1.20	0.58		
30	30	3	7.80	1.30	1.65	1.41	0.67	0.92	0.89	1.18	0.55		
30	30	4	10.08	1.68	2.14	1.80	0.88	0.92	0.94	1.17	0.52		
40	40	2	7.20	1.20	1.53	2.44	0.84	1.26	1.09	1.61	0.78		
40	40	3	10.62	1.77	2.25	3.50	1.22	1.25	1.14	1.59	0.76		
40	40	4	13.86	2.31	2.94	4.46	1.58	1.23	1.19	1.58	0.78		
40	40	5	19.62	2.82	3.59	5.31	1.91	1.22	1.23	0.73	0.73		
50	50	2	9.12	1.52	1.93	4.86	1.33	1.58	1.34	2.01	0.98		
50	50	3	13.44	2.24	2.85	7.03	1.95	1.57	1.39	2.00	0.96		
50	50	4	17.64	2.94	3.74	9.04	2.53	1.56	1.43	1.98	0.94		
50	50	5	21.60	3.60	4.59	10.88	3.09	1.54	1.48	1.97	0.93		
50	50	6	25.92	4.32	5.40	12.57	3.62	1.53	1.53	1.96	0.90		
60	60	3	16.26	2.71	3.45	12.37	2.95	1.84	1.64	2.41	1.16		
60	60	4	21.36	3.56	4.54	16.00	3.71	1.88	1.68	2.39	1.15		
60	60	5	26.34	4.39	5.59	19.40	4.54	1.86	1.73	2.38	1.13		
60	60	6	31.68	5.28	6.60	22.56	5.35	1.85	1.78	2.37	1.11		
60	60	8	41.04	6.84	8.55	28.21	6.85	1.82	1.88	2.34	1.05		

ANEXO 9: Características mecánicas para diferentes resortes

Material	Límite elástico, porcentaje de S_{ut} tensión, torsión		Diámetro d , pulg	E		G	
				Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
Resorte estirado duro A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064-0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6
Templado en aceite A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Resorte de válvula A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo vanadio A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88-93			29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo silicio A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Acero inoxidable							
A313*	65-75	45-55		28	193	10	69.0
17-7PH	75-80	55-60		29.5	208.4	11	75.8
414	65-70	42-55		29	200	11.2	77.2
420	65-75	45-55		29	200	11.2	77.2
431	72-76	50-55		30	206	11.5	79.3
Bronce fosforado B159	75-80	45-50		15	103.4	6	41.4
Cobre al berilio B197	70	50		17	117.2	6.5	44.8
	75	50-55		19	131	7.3	50.3
Aleación Inconel X-750	65-70	40-45		31	213.7	11.2	77.2

ANEXO 10: Dimensiones del tornillo de potencia trapezoidal

Roscas

ROSCA TRAPEZIAL

TABLA 6 . 13

$$h = 1,866 p$$

$$h_1 = 0,5 p + h_3 ; h_1' = 0,5 p + 2 h_3 - h_3'$$

$$h_2 = 0,5 p + h - h'$$

$$h_4 = 0,25 p$$

mm.

Para paso p	Profun- didad de rosca h ₁	Rosca portante h ₂	Juego h ₃ h ₃ '		Radio del fondo r	Profun- didad de rosca h ₁ '
3	1,75	1,25	0,25	0,5	0,25	1,50
4	2,25	1,75	0,25	0,5	0,25	2,00
5	2,75	2	0,25	0,75	0,25	2,25
6	3,25	2,5	0,25	0,75	0,25	2,75
7	3,75	3	0,25	0,75	0,25	3,25
8	4,25	3,5	0,25	0,75	0,25	3,75
9	4,75	4	0,25	0,75	0,25	4,25
10	5,25	4,5	0,25	0,75	0,25	4,75
12	6,25	5,5	0,25	0,75	0,25	5,75
14	7,5	6	0,5	1,5	0,5	6,5
16	8,5	7	0,5	1,5	0,5	7,5
18	9,5	8	0,5	1,5	0,5	8,5
20	10,5	9	0,5	1,5	0,5	9,5
22	11,5	10	0,5	1,5	0,5	10,5
24	12,5	11	0,5	1,5	0,5	11,5
26	13,5	12	0,5	1,5	0,5	12,5

TORNILLO

TUERCA

TORNILLO

TUERCA

Diámetro de la rosca d	Diámetro del núcleo d ₁	Sección en el núcleo cm ²	Diámetro medio de la rosca d ₂	Paso h	Diámetro de la rosca d'	Diámetro en el núcleo d' ₁	Diámetro de la rosca d	Diámetro del núcleo d ₁	Sección en el núcleo cm ²	Diámetro medio de la rosca d ₂	Paso h	Diámetro de la rosca d'	Diámetro en el núcleo d' ₁
10	6,5	0,35	8,5	3	10,5	7,5	90	77,5	47,17	84	12	90,5	79
12	8,5	0,57	10,5	3	12,5	9,5	(92)	79,5	49,64	86	12	92,5	81
14	9,5	0,71	12	4	14,5	10,5	95	82,5	53,46	89	12	95,5	84
16	11,5	1,04	14	4	16,5	12,5	(98)	85,5	57,41	92	12	98,5	87
18	13,5	1,43	16	4	18,5	14,5	100	87,5	60,13	94	12	100,5	89
20	15,5	1,89	18	4	20,5	16,5	(105)	92,5	67,20	99	12	105,5	94
22	16,5	2,14	19,5	5	22,5	18	110	97,5	74,66	104	12	110,5	99
24	18,5	2,69	21,5	5	24,5	20	(115)	100	78,54	108	14	116	103
26	20,5	3,30	23,5	5	26,5	22	120	105	86,69	113	14	121	108
28	22,5	3,98	25,5	5	28,5	24	(125)	110	95,03	118	14	126	113
30	23,5	4,34	27	6	30,5	25	130	115	103,87	123	14	131	118
32	25,5	5,11	29	6	32,5	27	(135)	120	113,1	126	14	136	123
(34)	27,5	5,94	31	6	34,5	29	140	125	122,72	133	14	141	128
36	29,5	6,83	33	6	36,5	31	(145)	130	132,73	138	14	146	133
(38)	30,5	7,31	34,5	7	38,5	32	150	133	138,93	142	16	151	136
40	32,5	8,30	36,5	7	40,5	34	(155)	138	149,57	147	16	156	141
(42)	34,5	9,35	38,5	7	42,5	36	160	143	160,61	152	16	161	146
44	36,5	10,46	40,5	7	44,5	38	(165)	148	172,03	157	16	166	151

ANEXO 11: Dimensiones de pernos inoxidables

14

PERNOS Y TUERCAS INOXIDABLES

CONSUN



PERNO CABEZA HEXAGONAL DE ACERO INOXIDABLE

PERNO CABEZA HEXAGONAL DE ACERO INOXIDABLE

TIPO DE CABEZA:

FAMILIA: PA0
MEDIDAS: PULGADAS
TIPO DE ROSCA: FINA
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE
HILO: ESTÁNDAR

CÓDIGO: FAMILIA PA0 **VENTA:** UNIDAD

NOMENCLATURA DE CÓDIGO

Acero Inoxidable Longitud
PA025050
 Perno Diámetro

D= Diámetro del Perno
 L= Longitud del Perno

CÓDIGO:	DIÁMETRO:	LONGITUD:	MÁSTER (CT)
PA025050	1/4"	1/2"	4500 CT.
PA025100	1/4"	1"	3000 CT.
PA025150	1/4"	1 1/2"	2100 CT.
PA025200	1/4"	2"	1500 CT.
PA025250	1/4"	2 1/2"	1200 CT.
PA025300	1/4"	3"	1200 CT.
PA025350	1/4"	3 1/2"	1080 CT.
PA025400	1/4"	4"	900 CT.
PA025500	1/4"	5"	600 CT.
PA025600	1/4"	6"	500 CT.
PA031050	5/16"	1/2"	3000 CT.
PA031075	5/16"	3/4"	2100 CT.
PA031125	5/16"	1 1/4"	1500 CT.
PA031150	5/16"	1 1/2"	1200 CT.
PA031200	5/16"	2"	960 CT.
PA031250	5/16"	2 1/2"	840 CT.
PA031300	5/16"	3"	750 CT.
PA031350	5/16"	3 1/2"	750 CT.
PA031400	5/16"	4"	600 CT.
PA031450	5/16"	4 1/2"	600 CT.
PA031500	5/16"	5"	600 CT.
PA031550	5/16"	5 1/2"	500 CT.
PA031600	5/16"	6"	400 CT.
PA038075	3/8"	3/4"	1300 CT.
PA038100	3/8"	1"	1350 CT.
PA038125	3/8"	1 1/4"	1080 CT.
PA038150	3/8"	1 1/2"	960 CT.
PA038200	3/8"	2"	720 CT.
PA038250	3/8"	2 1/2"	600 CT.
PA038300	3/8"	3"	100 CT.
PA038350	3/8"	3 1/2"	480 CT.
PA038400	3/8"	4"	400 CT.
PA038450	3/8"	4 1/2"	330 CT.
PA038500	3/8"	5"	400 CT.
PA038600	3/8"	6"	250 CT.
PA043075	7/16"	3/4"	1200 CT.
PA043100	7/16"	1"	900 CT.

ANEXO 12: Construcción de la máquina



Elaborado por.: Briones Josué & Tabares Karla

PLANOS